LECCIONES

DE

ARQUITECTURA

EXPLICADAS

POR EL PROFESOR DE LA ACADEMIA DE INGENIEROS

COMANDANTE DEL CUERPO

D. BERNARDO PORTUONDO Y BARCELÓ

Coronel graduado, Teniente Coronel de Ejército.

PRIMERA PARTE.

MADRID.

IMPRENTA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS.

1877.

LECCIONES

DE

ARQUITECTURA

EXPLICADAS

POR EL PROFESOR DE LA ACADEMIA DE INGENIEROS

COMANDANTE DEL CUERPO

D. BERNARDO PORTUONDO Y BARCELÓ

Coronel graduado, Teniente Coronel de Ejército.

PRIMERA PARTE.

MADRID.

IMPRENTA DEL MEMORIAL DE INGENIEROS.

1877.

ARQUITECTURA.

INTRODUCCION.

El hombre, por todas partes rodeado de elementos contrarios á su bienestar, débil por su naturaleza física para oponerles una resistencia capaz de dominarlos y vencerlos, habria sucumbido en una lucha tan desigual, ó la especie humana arrastraria una vida de penas, de dolores, de pavura y sobresalto contínuos, si próvida la mano de Dios no la hubiese dotado de la facultad poderosa de la razon. Con su auxilio, no sólo se ha sentido el hombre bastante fuerte para combatirlos, sino bastante hábil y diestro

Orígen y desarrollo de la arquitectura.

para subyugarlos y someterlos á su imperio, convirtiéndolos, de hostiles y temibles, en humildes y dóciles instrumentos para suavizar las asperezas de su existencia en la tierra. Esa facultad es la que crea el arte, y especialmente es la que preside al que vamos á estudiar, llamado Arquitectura, que es, ante todo y sobre todo, eminentemente *racional*.

Desde el antro abierto en las escarpadas faldas de una roca para abrigarse de las inclemencias del tiempo, hasta el grandioso hipógeo egipcio, las catacumbas cristianas y las magníficas criptas y panteones; desde los montones irregulares de piedras, que cierran un espacio de terreno para aislarse y defenderse de las agresiones de animales feroces, hasta los soberbios castillos, robustas fortalezas y formidables plazas de guerra; desde el grosero tronco de árbol tendido sobre la corriente para salvarla y ensanchar el campo del trabajo, hasta el colosal puente Britannia ó la inmensa red de alambres audazmente suspendida sobre el abismo del Niágara; desde la piedra tosca levantada para señalar un lugar ó recordar un hecho, hasta los arcos de Séptimo-Severo y de la Estrella, ó las columnas de Trajano y de Vendôme; desde la humilde choza mal cubierta por informes haces de ramaje, hasta el suntuoso alcázar; desde la primitiva cabaña hasta el Parthenon, alta expresion del gusto y de la belleza del arte griego, ó el anfiteatro Flavio, retrato de la grandeza y del poder de Roma; desde el altar de piedra, desde el dólmen druida hasta la admirable catedral gótica ó hasta la colosal basílica de San Pedro; finalmente, desde las primeras y más humildes manifestaciones, rudas, pobres, hijas de la necesidad, á las posteriores más perfectas y admirables, reflejo de la cultura y del génio de los pueblos, se dilata y desarrolla en progresiva é incesante carrera, toda la historia del arte que vamos á enseñar. Y quien estudia, observador y atento, esa historia, descubre en cada uno de sus períodos los caractéres evidentes que señalan las grandes transformaciones, y los acontecimientos principales de la historia de la civilizacion.

Objeto principal.

No es, empero, solamente un interés histórico el que inspira el estudio de la arquitectura; por grande que sea ese interés (y sin duda lo reconocemos y proclamamos), no iguala al del objeto en sí, á lo que podemos llamar sustancial en este arte..... ¿Cuál es su fin?..... ¿Cuáles los medios para alcanzarlo de la manera más cumplida?..... Dar á conocer el primero, y enseñar los preceptos en que se fundan los últimos: tales parecen los dos términos en que debiera ser formulada la enseñanza de la arquitectura bajo el punto de vista más esencial, es decir, en cuanto se refiere á las necesidades del objeto y á sus conveniencias de todas clases.

Definicion.

La arquitectura es el arte de construir. En nuestro concepto, toda otra definicion de las muchas que dan los autores es viciosa; si es ménos general, si es ménos lata, se circunscribe, se limita su objeto, y es,

por tanto, inexacta; y si se añade algo más á ese concepto, como muchos pretenden, se cae en una falta de lógica, haciendo figurar como definicion lo que es una propiedad, más ó ménos importante, nacida del objeto esencial, y en él implícitamente comprendida.

Necesidades.

Las construcciones, que son, desde las primeras formas más sencillas hasta las más complexas, el resultado de la disposicion de los materiales que la naturaleza encierra para hacer los edificios y procurar á los hombres, á las familias, á los pueblos, el bienestar, y evitarles el sufrimiento, deben primeramente tener en sí las condiciones precisas y suficientes para existir, esto es, solidez, estabilidad. La razon, apoyada en la ciencia, cuando no en la observacion, dicta las formas y las dimensiones del objeto que el arte crea; y ella tambien enseña los medios de hacerlo durable, preservándole de las degradaciones que ocasionan ciertos elementos que conspiran contra su existencia. Hé aquí la primera, la más saliente, la más culminante de todas las necesidades; para satisfacerla cuenta el arte moderno con una experiencia tan larga como la historia de la humanidad; y cuando ella por sí sola no bastase á satisfacer todas las exigencias rigorosamente impuestas por la razon, el estudio de las ciencias naturales y de las físico-matemáticas, y su oportuna é inteligente aplicacion, las satisfarian tan plenamente como se pudiera requerir en cualquiera circunstancia.

Vienen despues, en órden sucesivo de importancia, otras necesidades de la construccion: las que nacen del fin especial á que se las destina, y que por su parte tambien imponen formas y dimensiones adecuadas que es indispensable armonizar con las primeras, si por acaso apareciesen á primera vista incompatibles. Conocimientos y estudios de muy diversa índole son los llamados á resolver este segundo punto, no ménos importante, si ménos general, que el primero, de la cuestion que la arquitectura plantea.

Conveniencias.

Siguen las conveniencias; y sin detenernos en un exámen prolijo de ellas, que más adelante habrémos de hacer, baste por ahora llamar la atencion sobre su importancia, y asegurar que, ora se las considere bajo un punto de vista material, ora se las contemple bajo su aspecto moral, esas conveniencias toman su orígen de elementos muy variables segun los tiempos, segun los lugares. Destinadas, en efecto, las construcciones á la comodidad y al bienestar de los hombres, han debido en todas épocas y deben hoy y siempre deberán de estar ajustadas á la manera de sér, á la manera de vivir de cada edad y de cada pueblo, y en ellas deben naturalmente reflejarse sus usos, sus leyes, sus creencias, su clima, el grado de su cultura ó el poder de su civilizacion y hasta los gustos que de ellas proceden. Las edificaciones de los antiguos pueblos, que han podido ser conservadas hasta nuestros dias, enseñan algunas veces más acerca de su historia que las tradiciones oscuras ó fabulo-

sas, mutiladas ó incompletas, que hasta nosotros ha
llegado.

Economía.

Entre todas las conveniencias que el arte de l
arquitectura estudia, discute y examina descuell
una que no vacilamos en calificar de primera y prin
cipal: su importancia es inmensa, á veces decisiv
y es preciso que nos detengamos algo más en ell
Hablamos de la *economía*. Desconocida por los anti
guos, pospuesta ú olvidada en algunas épocas y exa
gerada ó mal entendida otras veces, ha podido par
cer secundaria antes de nuestra época, antes de es
siglo. Hoy seria indisculpable pensar de tal maner
y torpe y desatinado proceder en el arte de constru
sin sujecion á un criterio económico ilustrado.

En los tiempos en que el trabajo no era un der
cho para el hombre, sino un deber impuesto al e
clavo por la fuerza, se comprende que la vanidad y
soberbia de un magnate egipcio sepultase en los g
gantescos hipógeos, cuyos restos nos asombran h
tesoros inmensos de actividad humana, y consumi
en ellos la vida entera de una generacion de esclav
se concibe que el fruto de las victorias de la poder
Roma se aplicase á levantar aquellos inmensos an
teatros, cuya piedra era labrada y esculpida y co
cada por los brazos de los vencidos, y cuya arena
cubria con polvo de oro y plata para ocultar la s
gre de los gladiadores. En medio de semejantes c
tumbres no era extraño que la idea de economía
apareciese en las construcciones. Pero los tiem

han cambiado y con ellos las costumbres; el obrero no es ya un esclavo: es un hombre libre y tiene derecho á exigir la justa retribucion de su trabajo; los monumentos que la industria y el arte hoy levantan son, más que alardes de la vanidad, la expresion de una necesidad ó de una utilidad pública; y si las sumas que en su construccion se invierten no guardan relacion con su principal *efecto útil*, ó exceden los límites impuestos por los recursos de que se dispone, la obra es económicamente imposible ó absurda.

Como se aplica la ciencia á las obras de arquitectura.

Acabamos de decir *efecto útil*, y esta expresion nos trae naturalmente á un punto trascendental de la arquitectura moderna, que es preciso presentar con toda claridad. Si el arte antiguo, sin salir de los límites de arte propiamente dicho, levantó templos grandiosos, inmensos circos y anfiteatros, termas admirables, magníficos acueductos, y trazó calzadas y elevó puentes que nos asombran y maravillan; y si todo eso se hizo sin el conocimiento y la aplicacion de las ciencias que hoy poseemos..... ¿qué es lo que con su auxilio gana el arte? Hay más; nosotros ponemos la ciencia en primer término, y queremos pasar por el crisol de sus leyes, de sus preceptos y de sus fórmulas las inspiraciones del artista; y despues de todo, con esos recursos de inteligencia y de saber que no tenian los antiguos..... ¿hemos alcanzado, por ventura, superarlos en materia de arquitectura? ¿Son nuestros templos mejores que el Parthenon de Atenas? ¿Son nuestras columnas mejores que los mo-

nolitos egipcios? ¿nuestros acueductos mejores que los de Roma?.....

Seguramente, si por *mejor* se entiende *más bello*, se lleva la cuestion fuera del terreno en que debemos considerarla, porque el problema de la construccion en nuestra época es esencialmente distinto del que resolvieron los antiguos arquitectos; para ellos no era dificultad lo que para nosotros es hoy obstáculo insuperable; la condicion económica influia bien poco, por no decir nada, en la ereccion de los monumentos en que los gruesos muros, las enormes piedras y la perfeccion de ajuste de los materiales entre sí, la opulencia y el lujo no ofrecian á su razon inconveniente alguno bastante poderoso para moderar los impulsos de su ambicion y orgullo, en tanto que estos los inducian á perpetuar en sus obras la memoria de su grandeza y poderío. Nosotros hemos adquirido la conviccion de que ese no es el camino de la inmortalidad, y sabemos que aquellas fuertes murallas, que los bronces y los pórfidos que parecian desafiar al tiempo, por el tiempo fueron vencidos y al tiempo se rindieron, quedando sepultados en el polvo y sumergidos en la noche del olvido. No aspiramos á esa gloria tan efímera; nuestro objeto es más práctico, más inteligente; y en el interés, en la necesidad de ahorrar el dinero, que es el precio del trabajo del hombre libre, aspiramos en nuestras obras á otro ideal más noble, más grande, más generoso, más humano. Hemos querido acercarnos á un punto en que

concurran lo *necesario* y lo *suficiente* para el fin que con una construccion nos proponemos realizar; no ménos de lo necesario ni más de lo suficiente; hé aquí el ideal del arte moderno de las construcciones; hé aquí el término á que nos conduce un criterio económico, y hé aquí, finalmente, la grande, la inmensa utilidad de la aplicacion de esas ciencias, cuyos progresos constituyen la verdadera gloria, el legítimo título de orgullo de nuestra época.

Manera de entender y practicar la economía.

Error grande seria el atribuir á las precedentes conclusiones un carácter absoluto y rigoroso que sólo está en la esfera ideal de la ciencia especulativa, y que alteran por modos muy diversos las condiciones ineludibles de la realidad práctica. La economía no es la reduccion material numérica de la cantidad de dinero que constituye el coste de una construccion; si dicha reduccion se hace á expensas de una ó varias necesidades desatendidas, de una ó varias conveniencias olvidadas ó suprimidas, y si no es el resultado de una apreciacion justa y razonada de todas y cada una de las partes integrantes del objeto principal, y de un profundo estudio (cuya dificultad suele ser tan grande como su importancia) de la disposicion general del conjunto; si así se la entiende, si así se la practica y se la considera, semejante economía será en general contraproducente; triste y por desgracia frecuente recurso de la ignorancia y de la torpeza.

La ciencia no encadena al arte.

Error no ménos grave seria tambien suponer que si, consultada la ciencia, ella dicta ciertas formas,

ciertas proporciones como las más próximas al ideal que hemos presentado antes, esas formas y esas proporciones, hijas de la razon, sean absolutamente invariables y sirvan como de inflexible molde dentro del cual vendria á perecer toda inspiracion, todo sentimiento artístico. Felizmente para el arte, no ha decretado la ciencia así su muerte, no lo esclaviza, no lo sujeta, no lo encadena; lo que hace es dirigirlo, y en esta direccion no hay más trabas ni más limitaciones al sentimiento y al gusto que las impuestas por la razon. En vano trataria el artista de oponerse á élla y de emanciparse de sus prescripciones; la obra que en su extravío crease, seria *irracional*, seria monstruosa. La latitud que dejan los preceptos científicos al génio artístico es la misma hoy que siempre; y si es verdad que en nuestros dias existe lo que se llama *realismo* en el arte, no se busque la causa de ese hecho en sujeciones de la ciencia ó en soñadas contradicciones entre la razon y el sentimiento; se la encontrará estudiando al hombre, estudiando la sociedad, en el hombre mismo, en la misma sociedad.

Dentro de esos límites racionales, que son por su naturaleza infranqueables, es no sólo conveniente, es preciso para que la arquitectura llene sus fines, que se mueva con libertad, con desahogo, con desembarazo y soltura. Y aquí conviene que nos detengamos un instante para llamar la atencion de los jóvenes que comienzan el estudio de este arte sobre

la necesidad en que están de prescindir á veces de ese rigorismo analítico, árido, severo, rígido é inflexible de las ciencias matemáticas que acaban de cursar. Con mucha frecuencia no podrémos decir rigorosamente aquí ese *por qué* que la costumbre nacida del estudio de dichas ciencias quiere ver en todas las cosas. El arte no consiente tales exigencias; si las admitiera en absoluto, dejaria de ser arte.

Interés histórico de la arquitectura.

Hemos dicho que reconocemos la importancia del estudio histórico de la arquitectura. Y es, en efecto, muy grande: mientras los monumentos levantados por los pueblos antiguos, en regiones distantes y apartadas del centro y asiento de la civilizacion europea, no habian sido el objeto de estudios detenidos; mientras las ruinas de los que dejaron Grecia y Roma permanecieron olvidadas, ó casi desconocidas para las naciones del mundo moderno, la historia de aquellas generaciones era generalmente trasmitida y revelada por los cantos de los poetas que celebraban sus triunfos y sus grandes hechos, y por tradiciones fabulosas incapaces en muchos casos de inspirar la fé que la razon no podia concederles. Pero no sólo incierta y envuelta en dudas, sino aún suponiéndola algunas veces digna de fé, era incompleta y deficiente para quienes no vieran en la historia sólo un relato de batallas ganadas y perdidas, ó una enumeracion de reyes que se dividian el imperio del mundo; para quienes quisieran conocer las leyes, las instituciones, las costumbres, la manera de sér y las condiciones de la

vida social de aquellos pueblos. El espíritu de investigacion, alentado por el amor de la ciencia y por la esperanza del éxito, produjo un gran movimiento en el mundo del saber y de la inteligencia, que vino á llenar aquel vacío hasta donde verdaderamente pareciera antes imposible; ese movimiento sigue, y dado el primer impulso, la investigacion continúa cada dia con más ardor y con más poderoso estímulo.

Es digno de la mayor admiracion el arqueólogo que emprende largos y penosos viajes á países remotos, y descubre en medio de campos hoy tristes y solitarios, en caractéres de piedra, todo un pasado lleno de grandeza y tal vez de útiles lecciones para el porvenir; el indagador intrépido y perseverante que remueve los escombros, que excava la tierra y penetra en las profundidades en donde yacen sepultados los restos del esplendor romano; y allí, en medio del silencio y de las sombras, arranca del seno del misterio que las envuelve, las páginas de la variada historia de aquel imperio poderoso. Aquí sus virtudes, allí su fuerza, allá su saber y su opulencia; ya son las costumbres de severa austeridad de los primeros tiempos, ya es la molicie y el lujo que marcan el principio de su decadencia, ó ya en fin la vergonzosa degradacion de los postreros, con todas sus miserias y repugnantes torpezas. La historia recoge cuidadosamente todos los matices y perfiles de ese imponente cuadro y lo trasmite á las nuevas generaciones, para que en él aprendan las leyes providenciales que

rigieron sus destinos antes ignorados..... Y todo eso, cuya importancia seria torpe desconocer, ha salido de la piedra, del monumento, de las ruinas, en una palabra, de la arquitectura, porque ella ha reflejado siempre todos los caractéres distintivos de las edades y de los pueblos.

Historia especial del arte. Necesidad de su estudio.

Pero lo que más directamente nos interesa es la historia especial del arte, la de todas sus vicisitudes, la de sus progresos, de sus innovaciones, de sus profundos cambios, de todos los caractéres, en una palabra, que ha ido revistiendo la arquitectura en la dilatada série de sus evoluciones. Este estudio no es sólo, como vulgarmente se cree, curioso y útil: es absolutamente necesario para saber los preceptos, las reglas de la construccion, porque la historia de su marcha progresiva al través del tiempo no es la narracion escueta de sus varias transformaciones, de sus diferentes fases, que como otras tantas etapas dividen el camino que ha seguido hasta hoy, no: es la expresion razonada, esencialmente filosófica, de las causas que han motivado esas transformaciones, de las necesidades físicas ó morales que las han impuesto, de las ventajas que la adopcion de nuevas formas ha producido, de los inconvenientes que ha evitado, de las leyes que han regido su trazado, su disposicion y estructura, en una palabra, es el arte mismo de la arquitectura explicado y enseñado por las obras que ha erigido. Como el sistema adoptado en estas lecciones se ajusta en todo á la opinion que acabamos de

asentar, creemos necesario insistir en este punto y aclarar dicho concepto. Fijemos, por ejemplo, nuestra atencion en el elemento primordial de las construcciones, en los materiales, y tendamos la vista rápidamente sobre esa parte de la historia del arte: se reconocerá en seguida la verdad de nuestra proposicion.

Y para ello no será preciso que nos esforcemos en tomar como punto de partida el orígen de los pueblos primitivos; no queremos hacer suposiciones ni inducciones: queremos partir de datos ciertos, positivos, irrecusables. En los restos de las antiguas construcciones, lo mismo en la India que en la China y el Japon, en Asiria y Babilonia, que en Persia, Fenicia y Palestina, el estudio y las investigaciones arqueológicas han demostrado que los materiales de que esos pueblos se valian para edificar eran los mismos que en todas las épocas y en los demás pueblos del mundo los hombres han empleado. La roca de las montañas, perforada y labrada por la mano del artista, presenta grandes espacios, inmensas galerías, que son templos consagrados al culto de la divinidad; ó bien la misma roca, cortada y esculpida, pierde sus formas naturales y reviste las de otro templo, sacado, digámoslo así, del centro de la misma peña, como si el arte no hubiese hecho más que separar y remover la masa exterior que lo cubriera y encerrára. Los speos é hipogeos egipcios presentan análogas disposiciones, y de unas y otras naturalmente se deducen varios hechos importantes. El más sólido, el más fuerte, el más durable de los materiales conocidos, la piedra, y lo que es más, la piedra no desprendida, no arrancada, no transportada, sino constituyendo la roca misma, y formando aún parte de la montaña, es el escogido, el empleado para el santuario, para la tumba, es decir, para lo que el hombre ha querido hacer tan firme, tan indestructible, tan fuera del alcance de las degradaciones, como lo requerian por una parte el respeto á la divinidad, y por otra la idea y el sentimiento que presidia á la sepultura, á la *morada eterna*, como ya la llamaron los Egipcios.

Las piedras extraidas de las excavaciones y cortadas de la roca, transportadas á lugares más ó ménos distantes, han servido para levantar otros monumentos, palacios, y áun otras variedades de templos, que, como un historiador dice, parecen haber sido arrancados de una montaña y trasladados, de una sola pieza, al centro de las llanuras: tales son su fuerza, su solidez, sus colosales proporciones; la piedra tambien es el elemento que los constituye, pero de diverso modo empleada, exige varias operaciones: su extraccion, su preparacion y labra, su transporte y la colocacion en obra. La extraccion procede de los mismos monumentos subterráneos y monolíticos, de los speos é hipogeos, que vienen así á ser verdaderas canteras cubiertas ó descubiertas. La preparacion y labra de piedras de gran tamaño precede á su trans-

porte, para reducir su peso y las dificultades de conduccion á lo absolutamente necesario. La colocacion en obra es tan esmerada, tan perfecta, que en la muralla famosa de la China, en donde los trabajadores se contaban por millones, era castigado con la muerte el operario cuya poca destreza era causa de que entre los juntas de separacion de las piedras cupiese la punta de un clavo. Este hecho, más ó ménos exagerado, revela la observancia extricta de un principio allí en donde no existia la dificultad de la mano de obra. Las piedras más grandes están debajo, las ménos grandes encima; es decir, lo más fuerte sostiene lo más débil; se facilita la colocacion de los materiales; la forma piramidal, las anchas bases y las terminaciones en punta, indican una disposicion propia para la mayor estabilidad.

Sin detenernos en más detalles sobre el empleo de la piedra en aquellos tiempos y países más remotos, y viniendo ya á las construcciones griegas, vemos en el período heróico, en las murallas pelásgicas, las piedras duras, las de difícil corte y talla, en formas irregulares, toscamente paramentadas y enlazadas con menudos fragmentos ó cuñas; y aquí reconocemos otro principio del arte: las piedras blandas, las más dóciles al trabajo del cincel, con formas regulares, uniones perfectas, sin otros materiales interpuestos, constituyen algunos de los monumentos ciclópeos primero, y más tarde las admirables creaciones del período histórico: se vé, se reconoce

en estas disposiciones que el arte se atempera á la naturaleza, que ya se tiene más en cuenta la mano de obra. Roma imita á Grecia en todo; pero la bóveda y el arco se generalizan, y las piedras toman nuevas formas para componer el nuevo elemento: hé aquí un nuevo principio establecido y observado; todavía existe el trabajo forzado del esclavo, y esto explica la perfeccion de la labra, las grandes dimensiones y la íntima union y contacto directo de las piedras, así como el empleo de granitos y pórfidos de dureza extrema en unas partes, y mármoles y jaspes en otras con bellos pulimentos.

Despues, cuando el trabajo del hombre se aprecia en dinero, las piedras no son ya ni tan grandes ni tan primorosamente labradas; el mortero, ya desde antes conocido, rellena los espacios huecos que la economía obliga á dejar entre ellas; parece que el arte retrocede, que se olvida un principio, que se vulnera un precepto; y es que la sociedad ha avanzado en cultura, que un modo de ser nuevo, reivindicando para el hombre los derechos antes hollados, pospone la vanidad del poderoso al bienestar de todos, y sacrifica á la economía los impulsos de la ambicion y de la soberbia: de aquí nacen y directamente se derivan las alteraciones introducidas por el arte moderno en los principios consagrados por el arte antiguo.

Si de las piedras naturales pasamos á las artificiales, y desde el adobe y el ladrillo, ya empleado por

los pueblos primitivos en Babilonia, en Egipto, etc., seguimos la misma marcha histórica que á grandes rasgos hemos bosquejado, hasta los ladrillos huecos modernos y los grandes prismas de hormigon; si el mismo exámen hacemos de las mezclas, de los cementos, morteros, argamasas, etc.; si recorremos asimismo la historia de la aplicacion de la madera, desde la primera forma de la tienda y la barraca hasta las más importantes obras de este siglo, y vemos ese material casi siempre empleado en edificios de corta vida y en unos pueblos más que en otros, segun su naturaleza, su clima y la constitucion de su suelo; si observamos que los metales, antiguamente sólo aplicados como un elemento auxiliar, lo mismo en Asia que en Egipto, adquieren más importancia en Grecia y sobre todo en Roma, en donde gruesas y ricas planchas de bronce constituyen lujosas cubiertas de monumentos, y que más tarde á medida que las fábricas de piedra son ménos perfectas, el empleo de los grandes cinchos metálicos, de los tirantes, de las áncoras, se hace más que útil necesario, é invade las mejores construcciones de Italia y otros países; si llegamos á nuestros dias en que los bosques apenas existen, en que falta la madera y en que el hierro extraido por el hombre de las entrañas de la tierra, y que reviste de cuantas formas quiere, por todas partes se extiende como un nuevo elemento llamado tal vez á abrir otros senderos y otros quizá más dilatados horizontes al arte de la arquitectura; si,

para concluir y resumir esta ya larga, siquiera muy incompleta disertacion, invitamos á toda persona reflexiva á que se fije en cada una de las observaciones que la historia ha hecho sobre las ruinas, sobre los monumentos existentes desde la más oscura antigüedad hasta la edad moderna y desde Oriente á Occidente; que cada una de las transiciones son y constituyen verdaderos principios consagrados por el arte y que estos principios no son hijos del capricho ni de la casualidad, sino la consecuencia lógica, indeclinable, de una sucesion de necesidades peculiares á cada pueblo, á cada clima, á cada época, á cada culto, á la opinion y á las leyes, no extrañará ciertamente que, con resolucion y sin temor de ser por nadie desmentidos, afirmemos que la historia del arte de la arquitectura es el arte mismo.

Llegamos á un punto que merece ser tratado con una inteligencia superior á la nuestra; cuestion importante, á nuestro juicio, y tanto más importante cuanto más ha sido por unos combatida duramente, por otros mal defendida y por no pocos desdeñada. Nos referimos á la decoracion arquitectónica; pero antes de tratar de ella séanos permitido recordar y repetir que las fórmulas algebráicas, la sequedad y aridez de los cálculos matemáticos deben estar muy distantes de nuestro juicio al abordar esta cuestion puramente artística; que no vamos á discutir la ecuacion ó las propiedades de una curva, ni á demostrar un teorema de geometría; vamos á considerarnos

Decoracion arquitectónica.

muy lejos de toda abstraccion, muy cerca de la realidad. Ya la ciencia nos ha dado lo que le hemos pedido, límites dentro de los cuales el arte puede moverse con una libertad sólo contenida por las conveniencias que antes hemos expuesto.

«Nada ménos de lo necesario y nada más de lo suficiente;» hé aquí el ideal que pretenden algunos convertir en fórmula práctica. Para ellos todo lo que en una obra de arquitectura no reconozca por causa ó por principio una necesidad *absoluta* ó no tenga por objeto una conveniencia *directa* y *positiva*; todo eso, que es lo que nosotros de una manera general vamos á llamar *decoracion*, debe ser condenado y proscrito. ¿Es esto posible? ¿Es esto practicable? ¿Dónde están los ejemplos que en todos los siglos que el mundo lleva de existencia se puedan presentar como aplicacion de tal doctrina? Los mismos que la proclaman ¿están seguros de no haber desmentido sus teorías cuando con el lápiz en la mano se han visto en el caso de proyectar?....

A las consideraciones generales que hemos presentado al tratar de la economía, debemos aquí añadir otras más concretas. Ante todo, para apreciar esa escuela, empezarémos por encerrarla dentro del estrecho círculo que ella misma se ha trazado, porque desde el momento en que ella pretenda no haber sido tan *absoluta* como la hemos representado y en que admita algo relativo, algo contingente y condicional en sus afirmaciones, se veria precisada á limitar el cuadro de esas relaciones, de esas condiciones y contingencias, y caeria entonces en el más grosero de todos los absurdos..... Ahora bien, queremos prescindir de la naturaleza y condicion del hombre, de lo que seria la vida, si todo en ella estuviese encerrado entre un *por qué* y un *para qué*, de las mil superfluidades que forman el alivio de nuestros trabajos y de nuestras fatigas, del goce que nos produce y el atractivo que sobre nuestras almas ejerce todo lo que es variado con armonía, accidentado sin violencia, lo que tiene expresion y vida, dignidad ó gracia, etc., etc., y la repulsion que nos inspira todo lo que es frio, monótono, inanimado, sin expresion; prescindamos de todas esas consideraciones y otras muchas de igual especie que están al alcance de todo el mundo, y reduzcamos nuestros argumentos á la presentacion de varios contrastes.

Nadie ignora, áun sin haber estudiado arquitectura, lo que es una columna: suprímase de ella las molduras, ¿qué queda? Sin duda lo necesario, lo positivamente útil..... ¿Y hay alguien que á la vista de ese cuerpo no experimente un sentimiento de disgusto? ¿que no sienta la falta de algo que lo anime, que le dé expresion? Los mismos enemigos de toda decoracion al dibujar sus tipos ¿no se han visto forzados á moldurarlos?.... Supóngase un muro fachada de un edificio; admitamos que está perfectamente compuesto con toda garantía de solidez, convenientemente resguardado en su parte superior por un cuer-

po saliente que lo preserve de la lluvia, que tenga las aberturas necesarias y sólo las bastantes para dar paso á la luz y al aire... etc. Es preciso convenir en que tal muro satisface todas las necesidades y llena las conveniencias positivas y directas de la construccion..... Pero ocurre preguntar desde luego..... ¿ese muro es la fachada de un almacen, de un cuartel, de una prision, de un mercado, de una lonja, de un templo, de un palacio ó de una casa particular? ¿Se escribiria acaso un gran letrero muy visible que expresase su destino, que significase su objeto? Si los partidarios de la fórmula estrecha que estamos combatiendo, antes de apelar á la decoracion, es decir, á los medios artísticos para dar al muro una expresion, un carácter, una fisonomía especial que acusen, por decirlo así, su objeto, su destino, prefiriesen acudir al ridículo recurso indicado, moriria su sistema entre la burla y el epígrama; y si, convencidos de ello aceptasen las diferencias de expresion y de carácter..... ¿no vendrian entonces á admitir la decoracion? Contrastes análogos y aún más chocantes podríamos seguir presentando al considerar cualquiera de los elementos de la arquitectura, arcadas, cornisas, techos, bóvedas, pavimentos, etc., etc.

Nadie duda que la verdad considerada en su esencia por sólo el hecho de serlo, tiene una expresion propia y distinta; pero segun los enemigos de toda expresion decorativa, se la debe despojar de sus símbolos para que entre ella y la razon que la contem-

pla exista una comunicacion directa y libre. Ellos dicen: «basta la verdad y la bondad; no necesitamos más en materia de arte;» y alrededor de esta arrogante afirmacion giran todas sus razones..... Pero á no suponerlos ángeles, espíritus puros, hay que convenir en que esa máxima no significa más que una soberana pedantería ó una insigne torpeza, porque niega en absoluto la accion de los sentidos y la fuerza, el imperio de la costumbre sobre el hombre, y supone que las ideas en el arte no necesitan de un signo, de una manifestacion sensible para llegar hasta nuestra razon y hasta nuestro sentimiento. No es necesario refutar tales suposiciones.

Si como algunos han pretendido, el objeto de los enemigos de la expresion, del carácter, de los signos en arquitectura, de todo ese conjunto de manifestaciones sensibles que constituye la decoracion, no es tanto el de proclamar su inutilidad ó inconveniencia como el de prevenir las extravagancias y exageraciones que con harta frecuencia se han originado de ella, si es esa su intencion, ningun medio han podido escoger más torpe para alcanzar dicho fin que el de la supresion de aquello cuyo abuso han querido precaver. En efecto, el hombre, en los extravíos de su razon y de sus gustos, de todo abusa, y si para evitarlo se proscribe el uso de una cosa que se reconoce justa y buena..... ¿qué cosa buena y justa existiria en el mundo? Además, en arquitectura, no siendo posible admitir que el artista renuncie por completo

á la decoracion, si en su enseñanza no se explican las reglas y los preceptos generales del buen gusto, si éste no se ilustra y se dirige con el ejemplo de buenos modelos y obras de los grandes maestros, el peligro de los abusos y desvaríos se haria mucho más grave, porque así la tendencia natural á las demasías y á la licencia sin la sujecion y el freno de un criterio ilustrado por lecciones anteriores, conduciria á los mayores delirios y á las más monstruosas aberraciones.

Nó: no son sólo la verdad y la bondad las condiciones que el arte pide á sus creaciones. Si lo verdadero y lo bueno, que implican lo necesario y lo conveniente, no van acompañados de lo bello, nuestra naturaleza sensible no se halla satisfecha ni áun penetrada de la conviccion, que sólo llega al alma, en cuanto al arte se refiere, al través de los sentidos. Lo bello, es en efecto, el explendor de la verdad, es el lenguaje, digámoslo así, con que ella habla á nuestra razon, haciendo vibrar las fibras sensibles de nuestra naturaleza impresionable. No se esperará seguramente que aquí hagamos un curso de estética para desarrollar una teoría de la belleza y distinguir el bello racional del bello ideal; lo dicho bastará sin duda para convencer á cualquiera de que su intervencion en la arquitectura es necesaria, si este arte ha de llenar su objeto de una manera digna y cumplida.

Rápida reseña histórica de la arquitectura religiosa.

A las razones expuestas aún podremos añadir una muy poderosa y concluyente: la conciencia universal de todos los pueblos y de todos los tiempos. Un

ejemplo va á servirnos para ponerla en evidencia: la arquitectura religiosa. El arte, como expresion de ideas y de sentimientos, necesidad moral del hombre, ha tenido su orígen en el culto de la Divinidad. Apenas se reunen los hombres en sociedad, aparecen ya entre ellos el altar y el templo como la primera obra de sus esfuerzos colectivos. Los Griegos y los Romanos (para no remontarnos demasiado lejos) adoraban multitud de Dioses y cada uno de ellos representaba una idea distinta. Así se veia que, al consagrar un templo á Minerva ó á Júpiter, ó á Hércules, ó á otra de las divinidades del Olimpo, su arquitectura, igual en la disposicion mecánica y en las conveniencias generales, variaba en el carácter, en la idea, y por tanto en la expresion, segun la advocacion respectiva. El arte, pues, tenia que acomodarse á diferentes manifestaciones; y si es verdad que las proporciones variaban, es igualmente cierto que los signos decorativos, los adornos y los símbolos constituian uno de los principales motivos artísticos de aquellas diferencias, las caracterizaban, imprimian, por decirlo así, al templo entero una fisonomía especial. La institucion de los órdenes de arquitectura, aunque tal vez fundada en otras causas, se prestaba admirablemente á las variadas exigencias de un culto múltiple; se les vé, en efecto, con proporciones, molduras y adornos diferentes, revestir lo mismo al conjunto que á los elementos, y entre estos últimos, á la columna sobre todo (que es el más destacado,

el más aislado, el que más completos dibuja sus contornos), y al revestirlos, comunicarles un aspecto especial, ora de severidad y firmeza, ora de esbeltez y elegancia, ora de ligereza, gracia y riqueza. Pero se descubre en todos esos monumentos del paganismo el sensualismo, la limitacion, el carácter terrestre de las ideas en que su religion se inspira.

Al salir la religion cristiana de las catacumbas, y aparecer triunfante sobre la tierra, crea las basílicas y si bien toma los elementos de la arquitectura romana, aplica á los templos por vez primera la bóveda, antes proscrita de los monumentos religiosos. Es el estilo latino. Con esto sólo hay ya un cambio radical, y este se manifiesta todavía más en las aéreas cúpulas neo-griegas, cuya grande altura espiritualiza y eleva la idea, parece como que llama la vista en direccion del cielo. Es el estilo bizantino. Pero donde verdaderamente se puede decir que la idea y el sentimiento cristianos se esculpen en piedra, es en las admirables catedrales de la Edad Media (1). En estas producciones no son solamente la bóveda y su altura las que revelan una aspiracion á los cielos; es su forma ojival alargada hácia arriba, de poca base, de mucha montea, y que, más que sustentada por empinados grupos ó haces de delgadas columnas,

(1) Entiéndase bien que en el elogio que aquí hacemos, prescindimos de muchos detalles de exornacion extravagantes que hemos de condenar en estas lecciones. Aquí sólo nos referimos á la expresion decorativa bajo un punto de vista general.

parece como la expansion de esos cuerpos, cuyos nervios ascendentes y no interrumpidos, al ramificarse, se dilatan, se cruzan, se entrelazan y se pierden en los espacios superiores; son las torres, las afiladas agujas, los contrafuertes, las ojivas altas y estrechas; es, en una palabra, ese conjunto maravilloso de elementos que, tocando apenas el suelo, tienden en su ascension como á esparcirse en los aires y volar á las regiones del firmamento; son los infinitos calados y multiplicados adornos que por todas partes las revisten, y que como si fueran de encaje primoroso ó trasparente gasa, espiritualizan la misma piedra; es, en fin, el fantástico efecto policrómico de las vidrieras pintadas, al través de las cuales los rayos del sol penetran y derraman sobre las naves una lluvia de topacios y diamantes, rubíes y esmeraldas..... ¡Lástima grande que, en medio de tan sublimes armonías, el arte no pueda dejar de ver con disgusto algunas fantasías caprichosas y á veces hasta repugnantes!

Cuando despues de estas gloriosas producciones de la idea y del sentimiento cristianos, el estilo ojival decae y renacen las antiguas y olvidadas formas de la arquitectura greco-romana, aquella misma idea, aquel mismo sentimiento inspiran la gran creacion de la asombrosa basílica de San Pedro. Vió Bramante el Panteon de Roma, y, animado de la fé cristiana, concibió el pensamiento colosal de *hacer otro Panteon sostenido en los aires*. Y Miguel Angel lo realizó;

pero sin los magníficos artesones de las naves, sin los grandes cuadros de la cúpula, sin la suntuosa exornacion que la reviste, la gigantesca obra perderia sin duda la grandeza de su expresion, siquiera conservase la magnitud y relacion de sus inmensas proporciones.

Y ahora preguntamos..... Sin la decoracion, sin el carácter que ella les da..... ¿Qué quedaria de todos esos monumentos? Los templos de la antigüedad, las catedrales góticas, la gran basílica del Renacimiento..... ¿Qué fueran?....

El rápido bosquejo que acabamos de hacer de los monumentos religiosos, deja comprender y nos excusa de definir los órdenes de arquitectura y las diferentes escuelas y estilos más importantes que la historia de este arte presenta. Y como en las lecciones siguientes hemos de tratar de ellos de una manera especial, dejamos para más adelante los detalles en que aquí seria impropio que nos detuviésemos.

La ciencia que el arquitecto debe poseer tiene límites que hacen posible su conocimiento.

Antes de explicar y razonar el plan que en estas lecciones hemos querido observar, será conveniente hacer una observacion interesante. Los alumnos, al considerar que el estudio de la arquitectura, para ser completo, ha de abrazar tantos y tan variados conocimientos, podrán tal vez creer que todo lo que en él se exige es superior á las facultades de un hombre. Y en efecto, la historia, la geografía, los cálculos, la mecánica, la física, la mineralogía, la geología, las sombras, la perspectiva y todas las aplicaciones de la geometría descriptiva, la estadística, la administracion, la estética, hasta las leyes y la economía política, parecen necesarias al arte de las construcciones; si de una de ellas se prescinde, la arquitectura no puede realizar todos sus fines. Es verdad; pero de aquí á suponer que el arquitecto para ser tal, debe ser omniscio; de aquí á pretender que el que practica dicho arte debe poseer profundamente tantas ciencias, media una distancia inmensa. Los constructores, los que proyectan y dirigen las obras, llámense arquitectos ó ingenieros, no han menester ciertamente de tanta sabiduría; bástales poseer los conocimientos técnicos, y digamos así profesionales, con toda la perfeccion posible; y esto cabe en lo humano, mediante un estudio asíduo y constante y una buena inteligencia. En cuanto á lo demás, la parte cuyo concurso necesitamos siempre, no es la doctrina científica completa; son sus resultados prácticos, que vienen ya conocidos á nosotros, y que aceptamos bajo la fé de la sancion que les han prestado sábios eminentes ó una experiencia universal. Dar á conocer esos resultados y enseñar el modo de aplicarlos: á esto queda reducido todo aquel aparato imponente de ciencia; y si en algun caso esos datos no fuesen suficien-

tes, el ingeniero y el arquitecto deben invocar el auxilio de los hombres que á esos estudios han consagrado su inteligencia y su vida, ya se llamen geólogos, mineralogistas, estadistas, economistas, etc., etc. Pero en la práctica de la arquitectura la aplicacion de los preceptos que nacen de todas estas ciencias no basta bajo el punto de vista del arte; cuando se trata del bello ideal no son las reglas, no son los principios, ni las fórmulas ni los preceptos los que sirven de guia al artista: es una poderosa facultad intuitiva que no se enseña, que no se puede enseñar; que ni áun el que de ella está dotado puede comunicar ó trasmitir más que á sus creaciones propias.

Método de enseñanza. Seguimos en estas lecciones el método sintético, es decir, hacemos primeramente el estudio aislado de cada uno de los elementos que entran á integrar la edificacion. Al hacer dicho estudio procuramos que sea lo más completo posible, considerándolos bajo los diferentes puntos de vista que interesa al ingeniero y al arquitecto conocer; y como complemento al de las proporciones; terminamos cada leccion por un cuadro en que con claridad van expresadas las fórmulas más usuales, á fin de evitar en los casos más frecuentes las largas y penosas investigaciones ó cálculos laboriosos, que se explican en los cursos de mecánica aplicada á las construcciones, y que no

figuran ni podrian figurar en este trabajo. Conocidos así los *elementos*, que son á la arquitectura lo que las letras al lenguaje, pasarémos á estudiar los medios de reunirlos, de agruparlos, de combinarlos para formar las diferentes partes de los edificios, que, siguiendo la anterior comparacion, son las palabras. Y finalmente, con estas partes completarémos el edificio, como con las palabras se completa la expresion de un pensamiento. Esta síntesis es útil, es necesaria para el estudio, para la enseñanza; pero no se vaya á confundir lo que no es más que un método con lo que es la práctica, el ejercicio de la arquitectura, para lo cual se procede de un modo inverso. La razon natural así lo indica: el niño aprende primero las letras, las sílabas y las palabras despues, y llega al fin á la gramática y la lógica; pero cuando ya tiene su razon ilustrada, al escribir, al hablar, al expresar sus ideas, no pasa de la palabra al pensamiento; que del pensamiento salen naturalmente las palabras que lo retratan: esto, aplicado á la arquitectura, es lo que se llama *composicion*, y formará la segunda parte de nuestro trabajo.

El sistema indicado para la enseñanza es perfectamente racional, y si razones agenas á nuestra voluntad no se oponen á ello, ese mismo sistema nos permitirá hacer entrar en estas lecciones la arquitectura militar, y presentarla bajo un punto de vista mucho más general, y por consiguiente más completo que el que hasta aquí ha servido de base, y

cuya deficiencia reconocen todos nuestros compañeros.

Elementos. Concluirémos esta introduccion diciendo cuáles son los elementos de la arquitectura que vamos á estudiar. Un edificio es, en general, un conjunto de materiales de tal modo dispuesto, que sea habitable el espacio que encierre (1). Preservar este espacio de la accion de las inclemencias atmosféricas es su primera condicion; y esto se consigue cubriendo su parte superior por una disposicion que se llama *techo*, y las laterales por otras que se llaman *muros*. Los muros sirven además para sostener los techos; y tanto con este objeto como con el de fraccionar el espacio interior con arreglo á las necesidades impuestas por las condiciones múltiples de la habitacion, se disponen otros muros más ó ménos robustos cuyos nombres particulares y cuyo especial destino vamos á indicar. Muros de *fachada* se llaman los que limitan y circunscriben el edificio entero cuando éste está completamente aislado, ó los que lo limitan hácia las partes libres del espacio que lo rodea, cuando el edificio por otras partes está comprendido entre construcciones contiguas; en este último caso, los muros

(1) Decimos *en general*, porque en la acepcion pura de la palabra, un arco de triunfo, una columna, un obelisco, una tumba, etc., son edificios tambien.

de separacion entre dos edificaciones adyacentes se llaman de *medianería* ó *medianeros*. Cuando los muros interiores sirven para concurrir con los de fachada á sostener la construccion superior, se llaman *de traviesa* ó simplemente *traviesas*, y cuando ménos fuertes, sólo tienen por objeto distribuir y repartir el espacio habitado en varias *piezas*, reciben el nombre de *tabiques de distribucion*. En muchos casos para resistir y sostener el peso de las construcciones superiores no es necesario el establecimiento de macizos contínuos, y basta entonces reemplazarlos, con ventaja económica, por unos sólidos prismáticos ó redondos verticales, establecidos á intervalos convenientes: estos sólidos se llaman *apoyos aislados*. De todos modos, ningun muro de los que hemos considerado puede ser *absolutamente* contínuo, porque así el interior de los edificios no se comunicaria con el exterior, ni las diferentes piezas entre sí; además faltarian luz y aire en la habitacion, elementos necesarios para la vida. Sólo los *medianeros*, en general, se exceptúan de esta regla; en los demás hay necesidad de dejar huecos ó aberturas que se denominan *vanos* y que son *puertas* ó *ventanas*, segun su objeto y disposicion especiales: las primeras facilitan el paso de personas y objetos transportables; las segundas del aire y de la luz. Los muros tienen tambien otros objetos en la arquitectura: ya sirven para aislar un espacio de terreno descubierto, y entonces se llaman *de cerca;* ya para contener y suje-

tar macizos de tierra removida, y en este caso se llaman *de terraplen;* ya para revestir y dar firmeza á los cortes verticales de las excavaciones, y entonces reciben el nombre de muros *de revestimiento*.

Las formas de los vanos ó aberturas de los muros son por extremo variadas: el contorno poligonal que generalmente los limita no siempre es de lados rectos; así, por ejemplo, tomando como punto de partida la figura rectangular, cuya dimension mayor es la vertical, sucede con frecuencia que el lado menor superior del rectángulo es reemplazado por una línea curva más ó ménos sencilla: la disposicion que así resulta es lo que se llama *arco*. Razones que oportunamente expondrémos inducen algunas veces á practicar en los muros grandes vanos en *arco*, distribuidos con cierta regularidad y rasgados hasta su pié; estas disposiciones, que reducen el muro á una série de apoyos aislados de mayor ó menor seccion transversal, constituyen lo que se llama *arcadas*.

En la clasificacion general que estamos haciendo hemos llamado *techo* á toda disposicion destinada á cubrir un espacio habitado. Con los edificios se forman las ciudades, y en el desarrollo progresivo de las poblaciones, limitado muchas veces por mil diversas causas el terreno sobre que se asientan aquellas, es preciso tomar en altura lo que falta en extension superficial, y sobreponer, digamos así, varios edificios unos á otros formando entre varios uno, compuesto de diferentes *pisos*. En este caso, que es el más co-

mun, se comprende que el *techo* de cada piso debe ser á la vez el suelo ó base del inmediato superior, siendo entonces el *suelo* del más bajo de todos el terreno natural, y el techo del más alto la disposicion que cubre y resguarda todo el edificio. Así resulta que en la denominacion genérica de *techos* se comprenden como partes de ellos ó variedades muchas disposiciones conocidas con los nombres de *cubiertas*, *azoteas*, *armaduras*, *bóvedas*, *cielos*, *suelos*, *pavimentos*, *terrados*, etc., etc.

Figuran, por último, en los edificios, como partes accesorias, los *basamentos*, *áticos*, *coronamientos*, *cornisas*, *balaustradas* y *frontones*, que oportunamente estudiarémos, y que no podríamos aquí ni siquiera definir, sin entrar en explicaciones y detalles inoportunos.

Tales son los elementos de la arquitectura (1), por cuyo estudio vamos á comenzar el del arte más útil para la vida y el bienestar de los pueblos.

---

(1) A diferencia de lo que hacen casi todos los autores no incluimos entre los elementos de arquitectura las escaleras. La razon de esto se encontrará en el curso de estas lecciones.

LECCION PRIMERA.

MUROS.

Los materiales empleados en la antigüeded para la construccion de los muros eran la piedra y el ladrillo. En Egipto se labraba en las canteras, desde donde eran las piedras conducidas al pié de obra, sin más peso que el necesario. Aun así, cuesta trabajo á la imaginacion el comprender estos transportes y la elevacion de las enormes piedras, cuyas colosales dimensiones y perfeccion de ajuste maravillan y sorprenden con razon, y áun explican la creencia de los pobladores hoy de esos lugares, que atribuyen dichas construcciones á una raza de jigantes. La disposicion de los muros era, en general, la siguiente: paramentos verticales interio- Egipcios. Lámina 1, figura 1.

res, y en talud al exterior, y no siempre contínuos; algunas veces, sobre una base corrida hasta cierta altura, se alzan apoyos aislados, en cuyas cabezas, y por el intermedio de otras piedras labradas en cortes rectangulares, descansan inmensas losas, que constituyen una cubierta.

Griegos. L. 1, fig. 2. El muro *ciclópeo*, en los primeros tiempos de la Grecia, que constituyen el período llamado heróico, se componia de enormes carretales de piedra de formas irregulares, y muy ligeramente labrados, de modo que, no ajustándose bien, y quedando espacios huecos entre unos y ótros, era preciso el empleo de piedras más pequeñas; posteriormente, labradas las piedras con más cuidado, sus uniones eran ménos imperfectas, pero exigian todavía el empleo de otras de menores dimensiones; otras veces se presentan en estas construc-
L. 1, figs. 3 y 4. ciones, en combinacion, piedras poligonales y rectangulares, ó mejor dicho, poliedrales irregulares y paralelepípedas; y finalmente, las hay dispuestas por hiladas horizontales, pero las juntas, en vez de ser verticales, afectan diferentes inclinaciones. Se supone, con más ó ménos fundamento, que los Pelasgos, á quienes son atribuidas estas obras, no empleaban las disposiciones irregulares descritas por ignorancia, sino porque era extraordinaria la dureza de la piedra; y esta hipótesis parece confirmada por existir muros regularmente dispuestos con piedras blandas, y disposiciones irregulares correspondientes á épocas posteriores.

L. 1, fig. 5. Los muros griegos, en cuya construccion se emplearon varias especies de calcáreos duros, y magníficos mármoles, aparecen ya generalmente compuestos de piedras labradas en ángulos rectos y aristas vivas; las de cada hilada enrasan

por sus caras horizontales; y si todas las hiladas son de igual ó diferente altura forman respectivamente los aparejos (1) llamados *isodomon* y *pseudisodomon*. Cuando el espesor de los muros era considerable, se construian dos de menor grueso L. 1, fig. 6.
paralelos, y se rellenaba el espacio comprendido entre ellos con piedras irregulares sin labrar y hormigon; en este caso, para dar á la obra más firmeza, se corrian algunas hiladas transversales, que servian de enlace entre los muros paralelos; este sistema se llamaba *emplecton*. Tambien emplearon los Griegos un aparejo compuesto de piedras cuadradas, cuya colocacion se hacia de modo que quedase vertical una de las diagonales de la cara de paramento.

La conveniencia de evitar la rotura de las aristas vivas de L. 1, fig. 7.
las piedras inspiró sin duda la idea de achaflanarlas; y aunque esto no se hacia con mucha frecuencia, es, sin embargo, un hecho comprobado que dicha práctica era ya seguida por los Griegos. Despues verémos que, convertida en una manera de decoracion, ha llegado á través de todos los pueblos y de todas las épocas hasta hoy, en que vemos muy usado ese procedimiento en un gran número de edificios modernos.

Los aparejos regulares de muros empleados por los Griegos pueden clasificarse del modo siguiente:

1.° Hiladas alternadas á *soga* y á *tizon*, es decir, con las L. 1, fig. 8.

---

(1) Empleamos la palabra *aparejo*, porque tenemos un interés especial en no adoptar la palabra *despiezo*, que no es castellana. Aparejar es preparar, disponer una cosa; *despiezar* nada significa; y si se ha querido inventar esta voz para expresar la idea de dividir ó fraccionar, además de ser innecesaria, seria su uso, en esta acepcion, refiriéndose á las construcciones, en extremo impropio.

más largas aristas de cada piedra en el sentido de la longitud y en el sentido del espesor respectivamente.

2.° Hiladas á tizon.

L. 1, fig. 5. 3.° Hiladas á soga. Alternando las altas y las bajas, cuyas piedras son especies de baldosas.

Cualquiera que fuese la clase de aparejo ó la disposicion, los Griegos siempre observaron la práctica de cruzar las juntas verticales, á fin de impedir que por su correspondencia quedasen superficies contínuas de separacion, que interesa siempre evitar en las construcciones, á lo ménos en el sentido en que obran los esfuerzos á que se hallan sujetas.

Aunque quedan pocas obras de ladrillo que con seguridad puedan ser atribuidas á los Griegos, se sabe que ellos hacian mucho uso de ese material. Empleaban, ya el ladrillo cocido *(plintos)*, ya el crudo ó adobe *(plintos omos)*.

Las variedades de ladrillo eran:

1.° *Ludion:* longitud 1 pié (0^m,308); anchura $\frac{1}{2}$ pié.

2.° *Tetradoron:* longitud 4 palmos (0^m,308); anchura 4 palmos (0^m,308).

3.° *Pentadoron:* longitud y anchura iguales á 5 palmos (0^m,385).

Las dos primeras clases eran empleadas para construir los muros de edificios privados, y la tercera para edificios públicos. Las tejas, conocidas con el nombre de *ceramos*, serán descritas al tratar de las cubiertas.

Etruscos. Los Etruscos imitaron en la disposicion de los muros la de los Griegos, y para las murallas defensivas de sus Acrópolis emplearon los aparejos ciclópeos ó pelásgicos.

Romanos. Los Romanos de los primeros tiempos se limitaron á construir los muros con piedras sacadas de las canteras inmediatas á Roma; pero cuando, dueños de la Grecia, alcanzaron mayor poderío y grandeza, no vacilaron en llevar á su ciudad multitud de jaspes y mármoles arrancados de monumentos griegos, y emplearlos en sus fábricas, cuyo lujo iba aumentando de una manera extraordinaria. Todos los ciudadanos querian tener en sus casas muros de mármol, y así este material era usado con inmensa profusion, hasta que procedimientos más económicos, y de no menor apariencia de lujo, comenzaron á sustituirlos en la mayor parte de las construcciones privadas. Los morteros empleados para unir las piedras, y los enlucidos para revestir los paramentos, eran excelentes; eran en general compuestos de cal viva, arena y polvo de teja. Para los muros de cisternas y otras obras hidráulicas se hacia uso de la mezcla de cal y polvo de teja, y de otra compuesta de cal viva hecha polvo y rociada de vino (?) con algunas sustancias, como pez y cera, cuyo cemento se aplicaba sobre la superficie preparada con una locion de aceite (1). En estas construcciones ya se puede ver lo que en todas las demás se observa entre los Romanos; pocas veces ó casi nunca se descubre originalidad en la primera idea; pero la mejoran y la perfeccionan con admirable destreza al hacer de ella aplicacion para sus necesidades y sus usos.

Los aparejos de muros empleados por los Romanos son, con muy poca diferencia, los de los Griegos.

(1) Muchos consideran dudosas esta y otras combinaciones y mezclas.

Se clasifican así:

L. 1, fig. 9. 1.° *Opus incertum*, compuesto de piedras irregulares sin labrar en los paramentos y un relleno de piedras pequeñas con mortero. Las aristas y encuentros de los muros eran de sillería labrada ó de ladrillos. Como se vé, es una variedad del *emplecton* griego.

L. 1, fig. 10. 2.° *Opus reticulatum*, que se compone de piedras labradas de forma cuadrada, dispuestas de modo que una de las diagonales de sus caras aparentes fuese vertical, lo que daba al paramento cierta semejanza con una red, de donde procede sin duda su nombre. Por la parte opuesta al paramento la figura de cada piedra es la de una pirámide, cuya cúspide queda embebida en el espesor del muro y como sumergida en el relleno de mortero y piedras pequeñas. Es este procedimiento muy semejante al segundo descrito antes, empleado por los Griegos.

L. 1, fig. 11. 3.° *Aparejo de sillería homogéneo*. Es igual al griego: sillares de grandes dimensiones perfectamente labrados, y ajustados entre sí con tal precision, que las juntas son apenas perceptibles; la union de los sillares en cada hilada se hacia más íntima por medio de piezas de hierro ó cuñas de madera de dos colas.

4.° *Aparejo de sillarejos homogéneo*. Igual al anterior en su estructura, sin otra diferencia que la debida á las menores dimensiones de las piedras.

5.° Algunas veces se empleaba un procedimiento parecido al segundo, pero con piedras de tres á seis pulgadas de lado y en forma de pirámides cuadrangulares truncadas, cuya base mayor formaba el paramento, y la menor hácia

dentro en el mortero con piedras del relleno; para subsanar las irregularidades en el paramento, se establecian á intervalos iguales algunas hiladas de ladrillos con gruesas capas de mortero.

Las construcciones de ladrillo en Roma tuvieron grande importancia, y eran muy comunes. Los muros afectaban las siguientes disposiciones:

1.ª En los paramentos se colocaban ladrillos de forma triangular con un lado al exterior ó aparente, y el vértice opuesto á dicho lado embebido en el espesor del muro y sumergido en un relleno de hormigon *(cæmentum)*, de pequeñas piedras, cascos de teja y mortero. Hiladas de grandes ladrillos abrazaban todo el espesor del muro y eran alternadas con seis ú ocho de las otras. L. 1, fig. 12.

2.ª El *opus spicatum* se componia de ladrillos inclinados formando entre sí especies de redientes, que presentan cierta analogía con la espina dorsal de un pez y las vértebras ramificadas. L. 1, fig. 11

Tales eran las disposiciones, estructuras ó aparejos empleados por los pueblos de la antigüedad en la construccion de los muros. Como se vá á comprender en seguida, las disposiciones modernas no son diferentes en principio; y sólo se advierten las alteraciones producidas por el uso más general, casi absoluto, del mortero, y por la forma que hoy se dá universalmente á las piedras de sillería, que es la de paralelepípedo rectángulo. Como hacian los antiguos, se hacen hoy los muros de sillares ó sillarejos por hiladas horizontales; como en las épocas pasadas, se sigue la práctica de cruzar las juntas verticales; como entonces, se dá hoy á los si- Modernos.

llares ó sillarejos las colocaciones llamadas *á soga, á tizon* y *perpiaños*, ó piedras aparentes en ambos paramentos. La aplicacion del mortero produce entre las piedras un enlace conveniente; sustituye á las superficies poco labradas, cuyo contacto no puede ser perfecto, una capa uniforme y contínua, lo cual es muy favorable para mejor resistir las presiones; y aunque estas ventajas son compensadas por inconvenientes importantes, como son las degradaciones por los agentes atmosféricos, la accion de las lluvias, las filtraciones y los asientos desiguales y peligrosos, que pueden tener lugar si las caras ó lechos no son bien labrados, es, sin embargo, hoy, como ya hemos indicado, de un empleo universal.

Los antiguos empleaban muy grandes piedras; pero hoy el costo enorme que originarian su conduccion y colocacion en obra es una razon muy poderosa para moderar aquellas dimensiones, y reducirlas á límites más razonables, estableciéndose, no obstante, una diferencia notable entre las diversas clases de piedras, segun su dureza y resistencia. Cuando las piedras empleadas son sillarejos, labrados ó sin labrar, es indispensable el uso del mortero, y en el segundo caso, más necesario que en el primero, el hacer todos los salientes de los muros, así como sus encuentros con otros, empleando mejores materiales, lo cual nos lleva á las construcciones mixtas aplicadas á los muros modernos.

Es indudable que, no estando todas las partes de un muro expuestas á acciones igualmente enérgicas, seria poco económica una construccion homogénea del material más resistente, y torpe la que se compusiese exclusivamente del

más barato, que es por lo regular el más blando. Es, pues, evidente, la ventaja que resulta de la adopcion de un sistema medio que, siendo el más racional, es á la vez el más económico: consiste dicho sistema en hacer de materiales escogidos las partes más cargadas del muro, y las restantes de otros de inferior calidad. Pero al lado de estas ventajas innegables, es esencial no perder de vista que la desigualdad de asientos en las partes que constituyen una obra destinada á resistir como una sola pieza exige disposiciones y enlaces muy estudiados, si se quiere evitar funestos accidentes. Las disposiciones generalmente empleadas hoy son:

1.° Sillarejos ó morrillos sin labrar con sillares labrados para las partes más expuestas. Conviene en este caso establecer hiladas horizontales del material más fuerte.

2.° Mampostería ordinaria con paramento de ladrillo. Para el ménos desigual asiento posible convendrá que á intérvalos no muy grandes se extiendan algunas hiladas de ladrillo en todo el espesor, ó bien moldear los ladrillos con las formas más propias para que, presentando especies de dientes al interior, se asegure el enlace más íntimo posible.

3.° Macizo de hormigon con paramento de sillería labrada. Este procedimiento, económico para muchos casos, presenta el gran inconveniente de ser ocasionado á asientos muy desiguales en el macizo y en el paramento, cuyos inconvenientes sólo pueden ser prevenidos con cierta eficacia dando á algunas hiladas de sillares más entrada en el macizo que á otras, y formando de este modo dientes que liguen bien las dos partes. Como se vé, deja de ser así tan eco-

nómica la disposicion, cuya principal ventaja estriba en su poco costo.

4.° Mampostería de ladrillo con refuerzos de sillería labrada en las partes más cargadas. Este método es muy usado en edificios públicos y particulares.

Cadenas.

Del exámen de todas las disposiciones descritas, antiguas y modernas, se deduce que en todas las épocas se ha reconocido la conveniencia de reforzar los muros por medio de hiladas horizontales, algo más profundas que el espesor de aquellos, y refuerzos verticales dispuestos de un modo análogo. Las fajas ó cintas salientes que quedan así formadas, que son de materiales escogidos, y cuyo objeto se comprende fácilmente, son conocidas con el nombre de *cadenas* horizontales y verticales. Las primeras impiden que una ruptura se produzca en un muro con facilidad, obligándola á seguir una direccion muy tendida, y por tanto á mover mucho mayor volúmen del sólido. Las segundas parecen ocasionar desigualdad de asientos entre el que ellas experimentan, y el de las partes restantes del muro; pero siendo menores las presiones para estas que para aquellas, hay una compensacion que anula la citada desventaja.

Diferentes formas.

Hasta aquí se ha dado á conocer la disposicion de los muros en lo que se refiere á su aparejo; pero aún falta considerarla bajo un punto de vista muy importante: el de su destino ú objeto en la edificacion de que forma parte. Se sabe ya lo que son muros de fachada, de traviesa, medianeros, de cerca, de sostenimiento de tierras, tabiques, etc. Primeramente, es natural que para edificios públicos, de importancia grande, cuya principal cualidad debe ser la du-

racion, se deba hacer uso de materiales resistentes escogidos, como granitos, pórfidos, ciertas areniscas, etc., y que para edificios más modestos, en los que es preciso buscar el medio de conciliar toda la economía posible con el objeto que se desea, y no más, estará indicado el empleo de materiales de calidad inferior. Entre estos dos límites caben los grados de importancia de todas las demás construcciones, y á ella se ajustarán las variedades explicadas de muros de composicion mixta que les sean más adecuados.

Los muros de fachada, además de la berma ó zarpa que todo muro debe dejar libre por uno y otro lado en el cimiento, presentan en sus paramentos exteriores un decrecimiento de espesor de la base á la cresta ó coronamiento; esta disminucion se hace algunas veces por gradines ó bermas á altura de zócalos y pisos, ó por medio de una pendiente uniforme ó talud; no siempre, sin embargo, es el paramento exterior el que presenta esas retiradas ó ese talud, pues con frecuencia se observa que es vertical, y que la disminucion se hace en el interior, siendo en estos casos siempre por gradines y no por talud. Para proceder así hay dos razones: primera, disponer el muro de la manera más propia para resistir los empujes que acaso procedan de bóvedas ó techos, y en estas circunstancias es la primera disposicion la que se adopta; y segunda, no dar al muro en cada piso más que la resistencia necesaria y evitar así un exceso de gasto en mampostería inútil. Los muros de traviesa son unas veces de paramentos verticales, y otras decrecen en talud ó zarpas por igual de ambos lados; el conocimiento sólo de su objeto basta para explicar este proceder.

Los muros de cerca, destinados generalmente á cerrar patios ó á limitar solares yermos, son siempre de paramentos verticales. Los medianeros, sean dobles ó sencillos, son generalmente de paramentos verticales. Los tabiques de mampostería son sencillas paredes, que, á lo más, tienen de espesor la anchura de un ladrillo; pero cuando se dispone de buen yeso, se hacen de ladrillos de canto y se llaman panderetes. Tanto unos como otros necesitan el auxilio del hierro ó de la madera cuando su extension excede ciertos límites; pero esto entra ya en la disposicion de entramados, de que vamos á ocuparnos despues de decir algo sobre los muros de contencion.

La naturaleza de las tierras, la altura del muro y otras varias circunstancias, cuyo exámen no corresponde hacer aquí, determinan, con el auxilio de cálculos más ó ménos largos y complicados, el espesor y los taludes, ó mejor dicho, el perfil que en cada caso conviene. Los hay con paramento exterior é interior en talud, con gradines interiores y pendiente al exterior, con contrafuertes, con arcos ó bóvedas en descarga, etc. Nos limitamos aquí á indicar algunas disposiciones, porque este estudio se hace con toda extension y detalle en la clase de mecánica aplicada á las construcciones.

Entramados de madera. No se construyen muros sólo de mampostería. La madera y el hierro sirven tambien para constituir, no un auxiliar, sinó la parte principal en ciertos casos de su composicion. A estas obras se dá el nombre de *entramados*; y aunque el estudio completo de su aparejo ó estructura corresponde á la «carpintería» y á las «construcciones de hierro,» parece impropio no decir aquí algo sobre su disposicion, siquiera sea de un modo general.

La composicion de un entramado se reduce á una reunion de piezas de madera verticales, horizontales é inclinadas, enlazadas por medio de cortes que se llaman *ensambladuras*. Las piezas verticales son el alma de la construccion; sobre ellas cargan directamente las presiones. Las horizontales tienen por objeto mantener invariables la posicion y la distancia de las primeras. Las inclinadas están dispuestas de una manera conveniente para aliviar las verticales, desviando las direcciones de las fuertes presiones trasmitidas por estas, y llevándolas á las partes más resistentes; estas piezas inclinadas, que ya son tornapuntas, ya aspas sencillas ó dobles, contribuyen con eficacia á impedir el juego y la movilidad que, sin su concurso, tendrian inevitablemente las articulaciones del sistema principal. Si el entramado arrancára directamente del suelo, la madera en general estaria expuesta á podrirse por efecto de la humedad, á no ser que su calidad fuese la de esas maderas privilegiadas que sólo existen en ciertos países. Convendrá, pues, para evitar esos defectos, que el entramado descanse sobre una base de mampostería, de piedra ó de ladrillo, de la altura suficiente para que quede aquel aislado del terreno. Los espacios rectangulares, triangulares ó en forma de trapecios que quedan entre unas y otras de las indicadas piezas, se subdividen y fraccionan por medio de piezas llamadas de *relleno*. La manera de distribuir y enlazar los entramados de varios pisos, así como la disposicion que se les dá para recibir los suelos, para formar los vanos, tanto en los de fa-

L. 1, figs. 13 y 14.

chada como en los de traviesa, etc., etc., son detalles ajenos de estas lecciones; y así bastará, para dar á conocer la disposicion de esta clase de muros, decir que todos los espacios huecos que quedan entre las piezas y que no corresponden á puertas y ventanas, se cierran con mampostería de materiales más ó ménos escogidos, segun la importancia de la construccion y las condiciones de localidad; y además, para que sea bastante la adherencia entre la madera y la mampostería, se reviste aquella de cuerdas ó se cubre de clavos salientes, ó se la pica un poco con la azuela.

Como se vé, son estos muros á la vez más económicos y más ligeros que los de mampostería; y estas ventajas, unidas á la facilidad y rapidez de construccion, parecen indicar su uso para ciertas ocasiones. No obstante, sus defectos, que son la poca duracion, el poco abrigo que ofrecen á las habitaciones y la inevitable exposicion á incendios, son todos de grandísima importancia; y aunque hay quienes creen que los dos primeros pueden ser evitados, no se fijan bien en que sólo se conseguiria este resultado á expensas de las otras condiciones de ligereza, sencillez y economía, que forman sus ventajas principales.

Entramados de hierro. Los entramados de hierro, cuyo uso está aún poco generalizado, están tal vez llamados, como todas las demás aplicaciones de ese metal, á sustituir á los de madera y en muchos casos á los muros de mampostería. (L. 2, fig. 15.) Su disposicion y todos los detalles que se refieren á esta clase de construcciones serán ámpliamente explicados en las lecciones sobre el empleo del hierro; nos limitarémos, pues, aquí á decir que semejantes estos entramados, en su esencia, á los de madera,

son inmensamente superiores á estos por muchos conceptos. La resistencia, con secciones mucho menores, es incomparablemente mayor, y por tanto es posible reducir los espesores de los muros hasta el punto de que los rellenos de mampostería sean, si se quiere, de panderete. Esta reduccion de seccion y los menores gastos de conservacion, unidos á una duracion mucho mayor, hacen que sean más económicos. Se aprovecha mucho más el espacio interior de las habitaciones, lo cual es de suma importancia en la composicion horizontal, y en la distribucion de los edificios. La incombustibilidad es una de sus principales ventajas; y en este sentido no sólo salvan los edificios de un incendio directamente, sino que su adopcion haria mucho más fácil el aislamiento del fuego en una manzana ó barrio en que se hubiese manifestado. La mayor duracion es evidente, y con los modernos procedimientos inventados para prevenir la oxidacion hasta donde es posible, esta ventaja se hace inmensa. Los hierros salen del taller con formas perfectamente acomodadas á su destino, y por consiguiente desaparece el inconveniente de las irregularidades de las piezas de madera, que es á veces muy difícil y costoso corregir. El metal es el material más eficaz contra los terribles efectos de los temblores de tierra, muy comunes en las Antillas y en Filipinas, y en algunas provincias de España. La enumeracion de otras ventajas que son generales de todas las construcciones de hierro, nos llevaria demasiado lejos y fuera del límite que aquí debemos imponernos.

Se han construido tambien en estos últimos años muros completos de hierro, ya como revestimientos de muelles, ya

en las fortificaciones ó ya tambien en algunas torres-fanales. Estos muros se componen de planchas más ó ménos gruesas ó de hojas de palastro cosidas por medio de remaches ó enlazadas por nervios y pernos y escuadras.

Enlaces de los muros.

Conocida ya la disposicion especial de los muros, considerados como elementos aislados, es preciso decir algo sobre la manera de ligar unos con otros en sus encuentros. Los de mampostería, ya sean de sillares, sillarejos ó ladrillos, se aseguran en los ángulos por medio de *dentellones* formados por las mismas piedras ó ladrillos de uno y otro muro, y cuyos salientes y entrantes se corresponden de modo de hacer un fuerte encorchetado, cuyo objeto, como se ha dicho al hablar de las juntas verticales cruzadas, es romper la continuidad de las superficies que pudieran ser de separacion ó desunion. Cuando son los muros de construccion mixta se procura siempre que los ángulos estén formados de cadenas de materiales escogidos, cuya forma regular permita el enlace explicado para los homogéneos. Los muros de entramado se enlazan en los ángulos por medio de los piés derechos de esquina ó caberos, los cuales son abrazados por fuertes escuadras de hierro, cuyos brazos cogen las piezas horizontales principales de ambos entramados. Si la union es de un muro de mampostería y otro de entramado se disponen las piezas horizontales de éste, de modo que sus cabezas penetren en el macizo de aquel; y para mejor asegurarlos se emplean estribos ó anclas de hierro.

L. 1, figs. 13 y 14.

Proporciones.

Las proporciones de los muros varian tanto como los materiales de que se componen y como el objeto de su construccion. De las tres dimensiones que los constituyen, la

longitud y la altura son casi siempre determinadas por su destino y el objeto principal de su establecimiento; estas dimensiones, aunque variables para cada caso entre ciertos límites, son por lo general muy sencillas de fijarse. No es lo mismo respecto de la tercera dimension, esto es, del espesor, si se quiere precisar de una manera rigorosa un perfil tal que ofrezca la necesaria resistencia, y no dé un cubo de mampostería excesivo. Este problema, planteado en cada caso particular, es de una solucion más ó ménos complicada, y para ella es preciso hacer intervenir el cálculo y los principios de la mecánica, lo cual, si se quiere proceder con todo rigor, no siempre permite hacer entrar en las condiciones que sirven de datos todas y cada una de las circunstancias que tienden á modificarlos, porque muchas salen de los límites de investigaciones analíticas. Así, por ejemplo, las fórmulas no pueden, en realidad y de una manera exacta, tener en cuenta las dimensiones de las piedras, la mayor ó menor adherencia entre los materiales que se haya de emplear; y sin embargo, estas circunstancias influyen en muchos casos para alterar los espesores; tampoco se puede rigorosamente traducir en números exactos el aumento ó disminucion de espesor que se deba ó que se pueda hacer por virtud de ciertas modificaciones en la disposicion y enlaces de un muro con otras partes de la construccion que contribuyan á acrecer ó á amenguar su estabilidad. La aplicacion de dichas fórmulas es, sin embargo, siempre conveniente para conocer límites, y en algunos casos necesaria, ineludible, y ningun ingeniero ni arquitecto debe dejar de ocurrir á ellos.

Por lo demás, el ejemplo, que casi nunca falta, de otras

construcciones de naturaleza análoga á la que se proyecta basta para hacer estas determinaciones. Un espesor uniforme en toda la longitud ó en toda la altura de un muro, es muchas veces innecesario, y originaria un considerable exceso de gastos; de aquí la conveniencia de apelar á los contrafuertes en aquellos puntos de la longitud que más espesor reclamen; y de aquí tambien la práctica de disminuir gradualmente el grueso de los muros en los edificios desde la base á su coronamiento en los varios pisos que lo componen. En este último caso se debe tambien tener en cuenta que los suelos y los techos, así como los muros transversales, contribuyen á hacer mayor la estabilidad de un muro de fachada ó de traviesa de un edificio, y permiten, por tanto, cierta libertad razonable en la determinacion práctica de sus espesores. En general, en los edificios más comunes en las poblaciones, que están compuestos de varios pisos, ningun precepto puede ser más juicioso para el constructor que el que se funda en la sancion de la experiencia; y esta se presenta, no sólo en todos los edificios existentes comparables por su carácter, condiciones y destino al que se proyecte, sino tambien en los reglamentos de policía urbana y de seguridad y salubridad públicas, que fijan límites de que no es posible pasar, en espesores y alturas. La cuestion, pues, para el arquitecto, en la determinacion de proporciones de los muros, no presenta sérias dificultades, y puede con razon considerarse en general como de las más fáciles de resolver en la práctica.

Cuando los muros son estribos de bóvedas ó de contencion de tierras, constituyendo entonces casos especiales, es

forzoso aplicar las fórmulas que se enseña en el curso de mecánica aplicada á las construcciones. Estas fórmulas son de fácil aplicacion en los casos más frecuentes; y no hay manual de construcciones que no las contenga, así como los valores de los coeficientes que entran en ellas, y que corresponden á términos medios de experiencia para diferentes clases de tierras y de mamposterías.

Antes de pasar á ocuparnos de la decoracion de los muros, debemos decir que, como regla invariable de su disposicion en los que cierran los edificios y están expuestos á la intemperie, se establecen á distintas alturas cadenas horizontales más ó ménos salientes, y más ó ménos molduradas, que señalan los diferentes pisos, el coronamiento y la base: las primeras se llaman *plintos*, las segundas *cornisas* y las terceras *basamentos*. Unas y otras tienen por objeto aumentar la resistencia del muro dándole más espesor en las partes más expuestas, ó dar ancha base para la estabilidad, ó preservar de la lluvia el paramento y pié del muro.

Decoracion. Almohadillado.

La decoracion de los muros, como la de todos los elementos de arquitectura, debe tener como la primera y más esencial de sus propiedades, la de ser muy natural, muy lógica y muy apropiada á la naturaleza y composicion del cuerpo que se quiere decorar. Así comprendida, se concibe que la mejor decoracion de un muro de sillería, por ejemplo, es el perfecto ajuste de las piedras, la regularidad de las hiladas y la representacion limpia y clara de una disposicion inteligente. Esos magníficos mármoles y pórfidos de los muros antiguos, esas uniones casi imperceptibles y esa magnitud de sus piedras, son, en los monumentos de la antigüedad, el

más bello de todos sus ornamentos, y la más patente y más clara expresion de su grandeza. Si en nuestra época no se labra la piedra con la misma perfeccion, si no se usan materiales de tan gran valor, y si la necesidad ó conveniencia de emplear con profusion el mortero nos privan de seguir aquel mismo sistema de exornacion, no tratemos por eso de imitarlo servilmente como en algunas ocasiones se ha hecho; porque si para que las juntas aparezcan pequeñas en los paramentos se rebaja el interior de la piedra, dejando una especie de cavidad que se llena con mortero, no sólo se falsea la verdad, sino que la contraccion de los morteros es causa de que la presion cargue las aristas de union y las fracture con grave riesgo de toda la construccion. El arte griego, lógico y verdadero en todas sus manifestaciones, procedió siempre con un perfecto sentido en las obras que atestiguan su génio. Algunas veces las aristas vivas de los sillares eran cortadas en chaflan; y de aquí, es decir, de una conveniencia se desprendia con la mayor naturalidad un verdadero sis-
L. 1, fig. 7. tema de decoracion, orígen de los *almohadillados*, expresion de robustez y fuerza. Otras veces el interés de proteger los ladrillos ó adobes de los muros contra las degradaciones debidas á influencias atmosféricas, les inducia á revocar sus paramentos con estucos marmóreos, y esta aplicacion dió nacimiento á un nuevo sistema de decoracion, no ménos elegante ni ménos bello que los anteriores.

Más afectos los Romanos al fausto y á la ostentacion que á la sencillez de las expresiones, toman al principio los sistemas de los Griegos y los imitan con bastante perfeccion; pero despues los exageran, y aunque siempre con la maestría propia de este pueblo en la ejecucion de las obras, no se puede desconocer que se pospone la razon y la verdad al capricho y á la fantasía. Los *almohadillados*, por ejemplo, se hacen mucho más profundos, y se combinan con salientes que destacan más las dimensiones de las piedras; pero todavía los sillares de gran tamaño se acomodan muy bien á esta manera de decoracion, que aunque exagerada, no quebranta los preceptos de armonía en las proporciones. Tampoco se puede negar, sin pecar de injustos, que las disposiciones de sus muros de ladrillos y sillarejos, el *opus reticulatum* y el *opus spicatum* son preciosas y variadas combinaciones, cuya belleza está en la misma estructura de la construccion; lo mismo se puede decir de los juegos de colores diferentes que producia el empleo de mármoles de distintas clases, ya constituyendo el material de las piedras enteras ó ya aplicadas sólo á los paramentos en forma de baldosas pulimentadas. Tambien adornaban á la vez que protegian sus paredes, excelentes enlucidos y estucos finísimos, que ellos llamaban *opus marmoratum* y *opus albarium*, de grandísima consistencia y mucha belleza. Los Griegos y los Romanos sacaron tambien partido para la decoracion de mamposterías mixtas, de las cadenas verticales ligeramente molduradas en su parte superior; y entonces, por lo regular, revocaban y enlucian ó estucaban los paramentos de los muros en los espacios intermedios.

Tales son los sistemas antiguos de decoracion en los mu- Decoracion de los muros en la Edad Media
ros, y esos mismos son los que en épocas posteriores han sido empleados, y los que son hoy practicados en casi todas las construcciones modernas. Más ó ménos alterada en los

detalles, la idea, la esencia del sistema, como dictada por la razon, ha subsistido inalterable. Hay que convenir, sin embargo, en que durante el largo período de cinco siglos, desde el XI hasta el XVI, olvidadas y como perdidas las tradiciones del arte griego y romano, la decoracion de los muros participó, como todo lo demás, de esa libertad é independencia, no siempre razonable, y más que atinada caprichosa, así como de esa exuberancia de ornamentacion propias de la Edad Media. Hiladas desiguales y piedras no labradas con gran perfeccion; aparejos oblícuos, ya parecidos al *opus spicatum* de los Romanos, ya afectando dibujos variados por las formas ó por los colores; figuras geométricas enlazadas, cuadrados, rombos, pentágonos, exágonos; otras veces estrellas, triángulos ó rectángulos redondeados ó afilados en punta en su extremidad inferior, y dispuestos como escamas; finalmente, dibujos y esculturas de mil variedades, raras por caprichosas, ó imitadas, adulterando los tipos de las antiguas.

Renacimiento. Felizmente la reaccion operada por el renacimiento del arte, trajo con las prácticas antiguas la proscripcion de tantas rarezas; pero no enteramente libres del contagio los artistas de los primeros tiempos de la reaccion, continuaron recreándose en interrumpir la unidad y uniformidad de los paramentos con puntas de diamante, con irregularidades y asperezas en las piedras, líneas sinuosas, figuras esculpidas, oquedades figuradas y varias otras reliquias y rezagos de la Edad Media, completamente apartados de la pureza del arte griego y de la grandeza del romano.

Decoracion moderna. Hoy las prácticas antiguas en la decoracion de muros son más respetadas; pero es á veces la imitacion más servil

que oportuna. Los almohadillados se prodigan con poco discernimiento; indican solidez, expresan fuerza, gran resistencia, y siempre tuvieron esa significacion; pero ¿por qué? Porque, lo mismo en Grecia que en Roma, y más tarde en Florencia, las piedras que hace destacar el sistema, y cuyas proporciones pone en evidencia, son muy grandes, y con sus dimensiones, así acusadas, dan la idea de robustez y de firmeza. Así, al aplicar hoy, como algunas veces se vé, el almohadillado á muros de sillares que no son grandes, se comete un torpe contrasentido, con el cual ni siquiera el hábito nos permite transigir. Y no es que creamos que el sistema no es hoy aplicable porque las piedras no sean de las magnitudes colosales que empleaban los antiguos, no; creemos, al contrario, que se puede hacer uso de él, pero no con exceso, en muros aparejados con las piedras que hoy, en la práctica de nuestra manera de construir, se consideran grandes por su tamaño. Porque todo es relativo á la época en que se considera; y lo que en materia de decoracion se debe procurar siempre es la apariencia de una relacion, no la expresion de una idea absoluta. Así, nosotros considerarémos que un sillar es de grandes dimensiones, cuando tal parezca referido al atrevimiento y ligereza de las obras modernas, en cuyo caso juzgamos atinado el uso del almohadillado para ciertas partes de la construccion; la profusion con que se le aplica hoy es lo que condenamos.

En las mamposterías mixtas de ladrillo y piedra se emplea hoy un sistema que se presta á elegantes y juiciosas aplicaciones: es lo que se llama *agramilado*. Un muro de ladrillo bien construido, cuyos tendeles y juntas de mortero Agramilado.

sean delgados y las caras bien planas, con cadenas de sillería en los ángulos, en los plintos, en los telares, etc., es siempre de una apariencia preciosa, ya sean todos los ladrillos de un color uniforme, ó ya se saque partido, como sucede comunmente, de colores más ó ménos vivos, propios del material, para formar graciosas combinaciones de figuras, que son de muy buen efecto.

Estucos, enlucidos, pinturas, etc.

Nada tenemos que añadir sobre los enlucidos y estucos: su uso es universal hoy; son más bellos que consistentes, y aplicados á las paredes exteriores de los edificios los degrada la intemperie, y los ennegrecen y afean las lluvias. La pintura y los relieves de escultura, que generalmente se hacen con yeso, son muy usados en la decoracion de paredes interiores y exteriores; pero en este último caso, no invirtiendo considerables sumas en un contínuo entretenimiento, se degradan en poco tiempo y pierden todo su carácter y toda su belleza.

Adorno de los entramados.

Se acostumbra hoy cubrir los muros de entramado con capas de mortero y enlucidos que ocultan las piezas de madera, y les dan la apariencia de una construccion de mampostería, susceptible de todos los medios de decoracion indicados. Pero en algunos casos, y particularmente en casas de campo, se dejan aparentes las maderas, y se las dá figuras elegantes, tallándolas con cortes sencillos y pintándolas. Estos sistemas se prestan á combinaciones preciosas, sobre todo cuando los intérvalos entre las piezas de los entramados están ocupados por agramilados de ladrillo.

L. 2, fig. 18.

LECCION II.

APOYOS AISLADOS.

En las construcciones es algunas veces necesario el establecimiento de firmes apoyos en puntos determinados de la extension de un piso, de un techo, y á veces hasta de las bóvedas. Los sólidos destinados á este objeto son los *apoyos aislados;* y como afectan diferentes formas, se los distingue tambien con nombres diversos. Llámase *pilastra* el apoyo cuando su seccion recta es cuadrada, *columna* cuando es circular, y *pié derecho* cuando es rectangular. En algunas ocasiones se dá á los primeros el nombre de *pilar*, y se reserva el de *pilastra* para cuando, como despues verémos, parecen en parte empotrados en la mampostería de

un muro. Los apoyos, como los muros, pueden ser de mampostería, de madera ó de hierro.

Se comprende fácilmente que cuando una série de apoyos está de tal modo dispuesta que los ejes de estos se hallen en un mismo plano vertical (y este es el caso general), viene en cierto modo á ser un muro, del cual se ha suprimido toda la masa que se ha juzgado innecesaria para sostener la parte superior de una construccion. Así, se vé que los espacios que quedan vacíos entre cada dos apoyos tienen de anchura la distancia horizontal que media de uno á otro de estos; mas su altura no es siempre igual á la distancia vertical que separa del suelo la construccion superior, porque algunas veces los apoyos, en vez de bajar hasta el suelo, descansan sobre un murete corrido de poca elevacion, y que siendo la única parte que queda íntegra del muro, á quien la línea de apoyos aislados sustituye, viene como á hacer los oficios de un cuerpo intermediario entre aquellos y el cimiento, y á repartir y á uniformar las presiones trasmitidas. Con mucha frecuencia, sin embargo, este murete se reduce solamente á unos cuerpos prismáticos de seccion cuadrada, cuyos ejes son las prolongaciones de los ejes de los apoyos, y cuyos contornos rebasan un poco de las secciones de los sólidos verticales que sobre ellos se asientan.

L. 2, fig. 19.

Ya en un caso, ya en otro, el pié del murete ó los piés de los prismas son aislados del contacto directo con el suelo por medio de uno ó de varios cuerpos salientes para preservarlos de la humedad, y son además resguardados de la lluvia por otra banda tambien saliente en su parte superior. Los primeros (murete ó prismas) se llaman *dados;* los segundos se

llaman *bases* y los últimos *cornisas*. El cuerpo todo, constituido por estos tres miembros, ora sea como en la primera disposicion, un muro corrido, ora como en la segunda, una série de prismas, recibe el nombre de *basa* ó *basamento;* y cada uno de los cuerpos prismáticos con su *base* y su *cornisa*, se llama *pedestal*.

Entre los apoyos y los pedestales existe á veces un disco de más ó ménos espesor que se llama *base* cuando aquellos son columnas ó pilastras, y *zócalo* cuando son piés derechos. El cuerpo del apoyo, que cuando es columna se llama *fuste,* no recibe directamente en su cabeza ó seccion superior la construccion que sostiene; entre una y otra media otro disco, que vuela bastante del apoyo, y que, ofreciendo más asiento á la segunda, reduce el tiro ó espacio horizontal libre, y favorece así las condiciones de resistencia. Este miembro saliente que, así como la base, hemos supuesto disco, para tomar como punto de partida las formas más sencillas y elementales, recibe el nombre de *capitel* en las columnas y pilastras, y el de *imposta* en los piés derechos (1).

Por cima de la línea de los apoyos se encuentra la construccion que ellos sustentan, compuesta de tres miembros, cuyo objeto es preciso conocer. Apoyada sobre los capiteles, y salvando el espacio que los separa, se halla una piedra ó un macizo de mampostería, ó una fuerte pieza de madera; es el *arquitrabe*. Para ligar dos órdenes de apoyos, ó uno solo y un muro, en direccion perpendicular á la de los ar-

(1) El nombre de *imposta* casi nunca se aplica mas que en las arcadas, como se verá más adelante.

quitrabes, se establecen unas piezas, cuyos extremos descansan sobre la cara superior del miembro precedente; el conjunto de todas estas piezas transversales, que en su orígen debieron ser justapuestas para formar una masa continua, es el *friso*. Finalmente, para preservar de la lluvia toda la construccion, en su parte exterior, se extiende un miembro saliente, con más ó ménos vuelo, que corre á lo largo de todo el coronamiento: es la *cornisa*. El sistema compuesto de arquitrabe, friso y cornisa es el *entablamento* ó *cornisamento* (1).

Así, pues, una disposicion de apoyos aislados presenta tres partes principales: el *pedestal*, el *apoyo* propiamete dicho, y el *entablamento*. El primero, contínuo ó discontínuo, ya sea basa corrida ó no, consta de *base*, *dado* y *cornisa*. El segundo, ya sea columna, pilastra ó pié derecho, se divide en *base* (no siempre usada), *fuste* ó *cuerpo*, y *capitel* ó *imposta*. Finalmente, el tercero es constituido por el *arquitrabe*, el *friso* y la *cornisa*.

Descrita así de una manera muy general la disposicion de los apoyos aislados, y conocido el objeto de cada una de las partes que la constituyen é integran, se vá á exponer á continuacion con todo detalle las formas y proporciones y las diversas maneras de decoracion que afectan, empezando

(1) Tan castiza y apropiada es la palabra *entablamento* como la palabra *cornisamento*, y como lo serian tambien *cornison*, *cornijon*, *cornisamiento* y *cornijamiento*. Muchas personas quieren hacer gala de puristas, y usando la voz *cornisamento* condenan la otra. Nosotros, con el mismo derecho, pero sin iguales pretensiones, empleamos siempre la palabra *entablamento*, y no censuramos el uso de las demás indicadas.

por las columnas, cuya seccion circular, á la ventaja de robar el menor espacio posible, añade la de no presentar en su contorno aristas ó salientes susceptibles de fácil degradacion.

Los monumentos egipcios presentan varios tipos de columnas: ya son cilíndricas con base de la misma forma y mayor diámetro, ya es variable la seccion decreciendo su diámetro de abajo á arriba, ya cilíndricas hasta cierta altura y cónicas en la parte superior, ó ya, finalmente, estriadas en toda su altura, es decir, con unas pequeñas canales labradas en sentido de las generatrices. Las más generalmente empleadas, que son las del segundo tipo, ofrecen algunos rasgos de semejanza en su forma con la de los troncos de palmera; su parte inferior aparece frecuentemente adornada de hojas, y la superior figura como un haz ligado por anillos. Los fustes, unas veces lisos y otras estriados, están casi siempre cubiertos de figuras é inscripciones y adornados con varios colores. Las bases son, ó cilíndricas como en el primero de los tipos indicados, ó modificadas por un redondeamiento de la circunferencia de su seccion superior. Los capiteles parecen representar casi siempre una flor, unas veces abierta, y otras próxima á abrirse; los primeros presentan los pétalos con vueltas hácia el exterior de la columna, y sosteniendo un dado de piedra, cuyas caras caen por dentro de la corola; los segundos, más gruesos en su nacimiento, se adelgazan y recogen, presentando los pétalos como replegados hácia su extremo superior, en el cual descansa un dado saliente y mayor que el de los primeros. A veces el capitel está reducido á un simple cilindro redondeado en la circunferencia de su seccion inferior, y este tipo

Egipcios. L. 2, fig. 20.

se ha considerado como el orígen de las columnas que más adelante verémos empleadas por los Griegos y conocidas con el nombre de dóricas.

L. 1, fig. 1. Sobre las columnas egipcias se encuentra un entablamento compuesto sólo de arquitrabe y friso; parece, pues, natural pensar que las piedras del friso justapuestas formaban una superficie contínua que era como un terrado.

Nada se puede decir de proporciones en las columnas levantadas por los Egipcios. Sus dimensiones son colosales; pero no se descubre una ley de relaciones que denote la observancia de preceptos fijos en el arte, cuyos principios parecen tambien haber sido desconocidos por los Pelasgos, quienes emplearon como apoyos verticales para sostener los dinteles de las puertas en los recintos de sus acrópolis piedras largas semejantes á las de los monumentos célticos; pero las ricas columnas de oro y marfil que se les atribuyen, más parecen ser fantásticos deliquios de poeta que creaciones verdaderas del arte.

Griegos. Columnas. En el período histórico de la Grecia aparecen ya las columnas con formas y proporciones, cuyo estudio revela que han sido el resultado de una ley de relaciones evidente, y de una clara nocion de los preceptos científicos. Varian, es verdad, estas relaciones; pero no es caprichosa la diferencia, sino perfectamente ajustada al carácter de la edificacion á que pertenecen. Considerando como unidad el radio de la base, las alturas de las columnas vienen á ser, por término medio, once veces aquella unidad, y cinco las distancias horizontales que las separan. El radio de la base es mayor que el de la seccion superior, y su decrecimiento es gradual

en toda la altura, lo que dá á las columnas, con una forma tronco-cónica, más condiciones y más aspecto de estabilidad; en esta ley se observa, como en la anterior, la latitud necesaria para acomodarla al carácter del edificio; y así es más pronunciado el decrecimiento en donde se ha debido significar mayor solidez, y ménos acentuado cuando la elegancia y la gracia han debido modificar algo la idea de fuerza y robustez.

No siempre esta disminucion de diámetros es uniforme en todo el contorno de la columna; muchas veces se la observa sólo hácia la parte exterior del edificio. No siempre comienza la columna á disminuir en grueso desde la base; su forma cónica se limita hácia la parte más elevada ($\frac{2}{3}$ próximamente) y la restante hasta la base es cilíndrica. No siempre el perfil longitudinal está limitado por líneas rectas; se ha observado que, aunque poco pronunciadas, son curvas las líneas que señalan el contorno aparente en muchos monumentos de esta época. Las bases casi nunca fueron empleadas por los Griegos; los capiteles eran de formas variables que darémos despues á conocer; los entablamentos más ó ménos adornados, guardaban en sus diferentes partes relacion con la mayor ó menor altura de las columnas; mas no una relacion directa, sino inversa, en el arquitrabe y friso, lo cual es perfectamente racional; al contrario en las cornisas, que destinadas á alejar las aguas, eran tanto más voladas y altas cuanto más elevadas y esbeltas las columnas. En cuanto á los pedestales, se les hacia variar en altura en proporcion con las columnas, suprimiendo algunas veces su cornisa, otras su base y otras dejando sólo el dado.

Pilastras. Los Griegos llamaban *antes* (pilastras) á unos apoyos de seccion rectangular, de poco espesor, colocados á la extremidad de un muro. Mas empleadas para decorar que para sostener, no se advierte en ellas disminucion de anchura; su base y capitel juegan con las partes salientes superior é inferior del muro que adornan.

Raras veces empleaban los Griegos columnas de una sola pieza; las componian de varios cuerpos superpuestos y separados por juntas imperceptibles. Los arquitrabes eran enterizos. Los fustes eran en algunos casos estriados, lo cual, sin duda, procedia de la forma prismática que les daban antes de redondearlas.

Romanos. Los Romanos alteraron muy poco las formas y proporciones de los apoyos aislados que tomaron de los Griegos en los primeros tiempos; pero despues, cuando el lujo vino á sustituir á la pureza y al buen gusto, no sólo prodigaron las columnas monolíticas de mármol, pórfido y granito, sino que aumentaron considerablemente su altura, cuyo término medio fué de diez y nueve á veinte veces el radio de la base, y sus distancias horizontales cinco veces y media ó más. El decrecimiento del radio desde la base á la parte superior se hizo ménos pronunciado. Por lo demás, á excepcion de los detalles que hemos de enumerar en la leccion siguiente, la disposicion de los apoyos aislados era en Roma la misma que hemos descrito en Grecia.

Hay en la historia de la arquitectura un largo período que comienza en la decadencia del arte romano, y concluye á mediados del siglo XVI, y que abraza más de once centurias, durante las cuales reinan por todas partes el desórden

y la licencia más lamentables en el arte de construir. La necesidad y la pobreza primero, el hábito del lujo despues, y más tarde el capricho y la fantasía, algunas veces atrevidos pero pocas razonables, arrastraron el arte por extraviados senderos, y apartándolo de los sanos preceptos de la antigüedad, condujeron á las formas y proporciones híbridas é inarmónicas al principio, extravagantes y anárquicas luego, groseras y descompuestas al fin, sin la delicadeza y la dignidad que en el arte revelan la cultura de los pueblos. En vez de salvar este período, del que es difícil sacar modelos dignos de imitacion, sin dirigir una ojeada siquiera breve á las evoluciones de la arquitectura durante tantos siglos, lo recorrerémos con paso rápido y muy ligeras descripciones, porque el mismo error viene á veces asociado á atrevidas concepciones y esfuerzos de ingenio que, cuando no lo disculpáran, lo hicieran al ménos aceptable. No llegarémos ciertamente al extremo de aplaudir sin mesura y discrecion, como algunos lo han hecho, esa licencia desenfrenada, y criticar el clasicismo, más llevados de la novedad que convencidos de la justicia de sus aplausos ó de sus censuras. Dirémos sobre cada uno de los elementos de arquitectura, al llegar á esta época, lo preciso para que se comprendan los rasgos característicos de ella, y despues concluirémos con las palabras del poeta italiano: «.....*ma guarda e passa.*»

Latinos. Los primeros monumentos que levanta el cristianismo no presentan apoyos aislados que no sean iguales en todo á los del arte romano; á veces en un mismo edificio los hay de diferentes proporciones, y sólo en algunos puntos de sus

basílicas se ven las columnas retorcidas ó acanaladas en hélice.

Bizantinos. L. 3, fig. 21. La arquitectura bizantina establece sobre capiteles de forma piramidal un enorme tambor de igual forma, que parece otro capitel. Pilares cuadrados con columnas empotradas forman los apoyos de las naves de las iglesias, y las bases sufren tambien ligeras alteraciones.

Mientras el estilo bizantino altera con cierto respeto las formas y proporciones de las columnas y apoyos, y extiende más sus innovaciones en otros elementos de la construccion; y mientras Italia parece guardar cuidadosamente las reliquias del arte antiguo, á pesar de las invasiones del gusto de Oriente en algunas de sus provincias, las demás naciones occidentales, preocupadas y sobrecogidas de terror por las desgracias de la época y por los presagios terribles de la conclusion del mundo, apenas dan muestras de cultivar el arte.

Las criptas, que parecen como continuacion de las catacumbas, presentan columnas de distintos diámetros, algo parecidas á las antiguas, casi siempre con capiteles semejantes á los romanos. Fuera de los subterráneos, en las naves, se encuentran á veces pilares cuadrados coronados de impostas cortadas en bisel. La columnas y pilares afectan despues en sus fustes y bases formas y proporciones romanas, y bizantinas ó neo-griegas en sus capiteles. Desaparecen el arquitrabe y el friso. En el período romano-bizantino (1) ve- Romano-bizantinos.

(1) Ya llegarémos en el curso de estas lecciones á fijar y señalar las diferencias que, en nuestro concepto, debieran caracterizar los estilos llamados por muchos en nuestro país, románico, romano-bizantino y románico-bizantino.

mos, además del pilar, la pilastra empotrada y el pié derecho rectangular, las columnas de forma cilíndrica ó prismática, L. 3, fig. 22. algunas veces sin base, siempre con capitel; pero no son sólo estas formas las que dominan. Las hay exagonales, empotradas en las cuatro caras de un pilar ó sólo en dos, siendo en las otras dos reemplazadas por pilastras, cruciformes simples ó con columnas en los entrantes de los ángulos, ó empotradas en las caras ó en ambas partes á la vez, octogonales, y finalmente, cilíndricas rodeadas de ocho columnas más delgadas. No hay relaciones fijas en las proporciones, las cuales no sólo varian de unos á otros edificios, sino en un mismo edificio. Las bases suelen ser adulteraciones de las antiguas formas, y parecen como capiteles invertidos; pero las constituyen á veces estátuas que sostienen los fustes ó figuras de leones y otros animales, y en algunos casos se reducen á un alto zócalo sencillo. Los fustes son de di- L. 3, fig. 23. versas formas: hinchados hácia el tercio superior ó hácia el inferior de su altura, ó en forma de balaustre, ó cónicos ó cilíndricos; tambien se encuentran combinados los fustes entre sí para constituir un sólo apoyo; y entonces son cru- L. 3, fig. 24. zados, entrelazados, quebrados, anudados, con anillos, torcidos, ondulados, etc., etc.

Así continúan en los varios períodos del estilo ojival, en Estilo ojival. los cuales los pilares se complican extraordinariamente por la superposicion y hacinamiento de columnitas: las bases y zócalos con multitud de resaltos y facetas, y los capiteles ahogados y ocultos bajo de una profusion inmensa de hojas, flores, ramos y á veces de animales. En verdad, al recordar la pureza y la sencillez de las formas de columnas y pilas-

tras de los Griegos y Romanos, no se concibe mayor licencia, ni más desórden, ni ménos discrecion.

Renacimiento. Llegamos, por fin, á la época de Renacimiento; vuelven las columnas á tener formas y proporciones análogas á las que en Grecia y Roma fueron observadas. Las mismas leyes y los mismos preceptos tomados, ya de los monumentos que se habian podido salvar de la ruina completa, ó ya de las lecciones enseñadas por Vitruvio, sirvieron para las construcciones del Renacimiento y han sido trasmitidas hasta nosotros, que las aplicamos con generalidad en las obras de piedra ó de mampostería.

Modernos. Nuestra época, sin embargo, ménos preocupada de la idea de dar á sus obras una solidez excesiva capaz de desafiar las causas destructoras del tiempo, que de dotarlas sólo de la suficiente resistencia para el fin á que se las destina, no copia servilmente los modelos del arte antiguo; se inspira en sus formas y proporciones, pero al aplicarlas las modifica para mejor acomodarse á necesidades distintas; sin desnaturalizarlas, hace de ellas juiciosa y discreta aplicacion. Así, por ejemplo, no son ya los tipos de altura media de las columnas los once radios de los Griegos; la dimension media correspondiente á nuestros más sólidos apoyos rara vez baja de diez y seis radios, y esta medida se eleva á diez y ocho y á veinte, segun el grado de esbeltez y de ligereza que requiera la edificacion. Las separaciones horizontales siguen, en razon inversa de la altura, una escala de $7\frac{1}{2}$, $6\frac{3}{4}$ y 6 radios. Pero estos son sólo tipos medios, susceptibles de alteracion en casos determinados. Más variacion, y no ménos bien entendida, se observa en el decrecimiento de

seccion de la base al nacimiento del capitel; se guarda y se observa el principio, es decir, que en tanto sea la base más ancha con relacion á la seccion superior, en cuanto más estabilidad y solidez se quiera alcanzar. Las generatrices de la superficie de revolucion que constituye su forma son curvilíneas, y su trazado ha variado algo, sobre lo cual nada se puede decir de una manera asertiva; sólo conviene cuidar que el punto de su nacimiento en la base sea de tangente vertical y que la línea en su extremidad superior no afecte una curvatura demasiado acentuada. L. 3, fig. 25.

Las formas hinchadas de los fustes de la Edad Media están proscritas hoy, pues carecen totalmente de significacion y de objeto, por más que algunos, violentando la razon y el buen sentido, hayan querido ver las formas del sólido de igual resistencia, suponiéndole expuesto á esfuerzos trasversales. Las proporciones de los entablamentos y pedestales están relacionadas á las de las columnas por las reglas antes explicadas. Las pilastras no presentan disminucion de grueso ni anchura; y tanto en esto como en la diferencia entre sus capiteles y los de las columnas, imitan á las de la antigua Grecia.

Decoracion. Molduras. L. 3, fig. 26. Los elementos para la decoracion de las diferentes partes que constituyen un sistema de apoyos, se denominan *molduras*. Son lisas ó adornadas, simples ó compuestas. Las molduras simples son los *filetes ó listeles*, *junquillo*, *cuartobocel* (directo ó inverso), *caveto* (directo ó inverso) y *toro;* y las compuestas son el *talon*, la *gola* y la *escocia*. En la lámina 3.ª están representadas con todo detalle; y como se vé, hay tambien variedades, como el *lintel*, que no es otra cosa que un filete de mayor altura, generalmente empleado

en la ceja ó alero de las cornisas superiores, cuya cara inferior se llama *sófito*. Las combinaciones á que se prestan estas molduras, ya para adornar las bases y capiteles, ya para los entablamentos y pedestales, son muy variadas, y forman perfiles de un efecto más ó ménos agradable y elegante, segun el gusto con que se las disponga; á la manera de hacer estas combinaciones se llama generalmente *arte de perfilar*. Tambien se realzan y decoran las molduras combinadas y así dispuestas por medio de ornamentos esculpidos, grabados ó pintados, y que en el período del arte griego eran: las *ondas*, habitualmente empleadas en exornar los linteles; las *grecas*, en los sófitos; los *entrelazos* ó lacerías, en los toros; los *huevos* (1), en el cuarto-bocel; las *hojas de palma*, en las golas; las *perlas*, en los junquillos; las *rayas de corazon*, en el talon; las *canales*, que son estrías con hojas, y las *ranuras*, que son estrías circulares, á veces empleadas en los toros. Las figuras representadas en la lámina 3.ª dan una idea detallada y clara de todos estos adornos.

Las molduras y adornos de la arquitectura romana son iguales á las de la griega; pero en el período de la decadencia del arte en Roma, se nota alguna alteracion: el arco de círculo sustituye á la parábola, y se emplean con algun exceso el follaje, las rosas, las escamas y algunas extravagancias.

L. 3, fig. 27. Pero en donde no se puede asignar un límite al número

(1) Las palabras *ovas*, *óvolos* y otros términos derivados de *ovum* (en latin huevo), son por muchos preferidas para designar este adorno. Otros, con grandísima impropiedad, lo llaman *óvalo*. Y finalmente, algunos lo denominan *equino*, acaso porque antiguamente se daba este nombre al *cuarto-bocel*, moldura que generalmente era realzada con el adorno citado.

y variedad inmensa de formas en las molduras y de especies de ornamentacion, es en la arquitectura de la Edad Media. Romanas al principio con alteraciones del gusto bárbaro, se las vé ir sucesivamente apartándose del primer modelo: los toros y escocias de las bases se cambian, se mutilan, se desnaturalizan por completo, y llegan, más bien que bases, á parecer capiteles al revés; estos, que primero recuerdan algo Láms. 3 y 4, fig. 28.
de las formas y exornacion romanas, se llenan despues de innumerables hojas y ramos; campean en ellos figuras con trajes orientales y animales fantásticos, flores con pétalos vueltos al exterior unas veces y otras recogidos, monstruosas figuras humanas, mascarones, alegorías paganas, cabezas haciendo gestos, pájaros, frutos, racimos, lacerías, etcétera, etc. Se decoran y adornan las molduras con puntas de diamante, almenas, grecas, estrellas, perlas, festones, cables, discos, zig-zags, redientes, tableros, rosarios, ondas, rombos, dientes de sierra, castañas, etc., etc. Al fin de este L. 4, fig. 29.
largo período llegan á desaparecer los capiteles; y los pilares se convierten en haces de prismas delgados, que parten de una série de balaustres inferiores, se elevan verticalmente ó retorcidos en hélice, y se extienden y ramifican sobre las bóvedas que sustentan, formando en algunos casos una red confusa de nervios que cubre y oculta las superficies de intradós. Tales molduras, tales adornos, tal confusion de líneas y tan enmarañadas combinaciones, constituyen el último grado del delirio, un vértigo de exornacion, una verdadera decadencia del arte; y de tal modo, que esto sólo bastaria para justificar el rigorismo clásico que el estilo del Renacimiento comenzó á observar en todas sus producciones, y á

enseñar y propagar por toda Europa, proscribiendo tan absurdas y á veces groseras demasías, y sacando de entre ocultos y perdidos escombros las antiguas partes de la arquitectura greco-romana.

Nuestra época, sin las exageraciones de una reaccion tan violenta, sigue, es verdad, las huellas del Renacimiento; pero con más independencia de juicio, aplica las mismas antiguas molduras y los mismos ornamentos, si bien las perfila y los dispone sin ajustarse á patrones recortados ni esclavizarse entre contornos invariables.

Para completar los precedentes estudios sobre las formas, disposicion y decoracion de los apoyos aislados, despues de recordar que el modo de ejecucion moderno es, lo mismo que en los muros, ménos perfecto, que los arquitrabes no son enterizos, que materiales extraños entran á darles la robustez y enlace que su fraccionamiento debilita, y finalmente, que la calidad de las piedras, su magnitud y la interposicion del mortero privan á las obras del carácter monumental de las antiguas, deberíamos dar á conocer el uso que de los elementos descritos hace la arquitectura para componer el conjunto ó sistema completo, que constituye la construccion formada y sostenida por los apoyos aislados. Las disposiciones y los caractéres diversos que revisten esos sistemas son los llamados *órdenes de arquitectura*; y su estudio es el objeto de la leccion siguiente. Pero antes de pasar á ella terminemos esta con algunas breves indicaciones sobre los apoyos de madera y los de hierro.

Apoyos de madera.

Del entramado de madera se puede pasar al apoyo aislado, del mismo modo que del muro pasamos á la columna,

pilastra ó pié derecho de piedra. Los apoyos de madera, formados generalmente por un prisma de seccion cuadrada ú octogonal, están aislados del terreno por una piedra prismática de mayor seccion; es el pedestal ó zócalo; reposando sobre éste se eleva el apoyo verticalmente, y termina en su parte superior por una espiga. Una línea de apoyos sostiene la pieza de madera, que forma el arquitrabe por medio de dichas espigas, que penetran en cajas abiertas en la pieza horizontal; sobre esta y la correspondiente á otra línea paralela ó la cresta de un muro apoyan sus extremidades otras transversales que constituyen el friso; y finalmente, las piezas de madera inclinadas que sostienen la cubierta del edificio salen formando lo que se llama el alero, cuyo objeto es el que ya se ha dicho de la cornisa. Tal es la disposicion de un sistema de apoyos de madera. Sus proporciones en altura y en escuadría ó seccion transversal varían mucho, segun las presiones que deben trasmitir, y segun la calidad de las maderas empleadas; los espacios horizontales que separan los apoyos juegan con las distancias que median entre las piezas que sostienen la cubierta. El poco uso que se hace de la madera para las partes aparentes de los edificios, excusa de exornar estos apoyos, limitándose su decoracion á labrar y alisar muy bien sus caras, regularizando su forma; sin embargo, en países en donde abunda la caoba, se ven preciosas columnas, cuyo bello pulimento, realzado por molduras doradas, es de un efecto muy agradable.

Apoyos de hierro.

Los apoyos aislados de hierro, cuyo uso está hoy generalizado en todo el mundo, serán descritos y estudiados con todo detalle en las lecciones de «Obras de hierro.» Aquí nos

limitamos, pues, á una ligera indicacion general acerca de sus formas, proporciones y decoracion.

L. 4, fig. 30. La gran resistencia de este material ha permitido dar á todos los elementos de la construccion, formas y proporciones esencialmente distintas de las que antes estaban en cierto modo consagradas por el arte. Razones que no es propio de este lugar exponer, han motivado el empleo casi exclusivo del hierro fundido para los apoyos, á los cuales la industria de la fundicion, por sencillos y económicos procedimientos, imprime las formas que se quiere darles. Estas varian en extremo; ya son macizas, ya huecas, con secciones cuadradas, poligonales, circulares, en cruz, lisas, estriadas, etc.; pero á todas ellas es comun una propiedad nacida de la especialidad misma de la materia, de sus condiciones de resistencia: es la ligereza, la suma delgadez de dichos apoyos cuando se los compara á los de otros materiales.

La preferencia que en las aplicaciones se deba dar á una ú otra de las secciones enumeradas debe ser el resultado de un estudio mecánico de las fuerzas que sobre ellas actúan; pero desde luego y sin grande esfuerzo se concibe la posibilidad de la transformacion de perfiles, y fácilmente tambien se infiere que si la superficie de una seccion contínua ó maciza se cambia en hueca ú horadada, habrá gran ventaja bajo el punto de vista de la resistencia; ó si para igual resistencia se disminuye la superficie de seccion, habrá entonces menor peso de material y mayor economía. No se debe, sin embargo, llevar la aplicacion de este principio más allá de ciertos límites, porque la economía alcanzada por la menor cantidad de materia, aumentando el diámetro y disminuyendo el espesor de hierro, seria compensada y aún excedida por el sobreprecio de la fundicion. Todo debe ser pesado y examinado y discutido antes de aceptar formas de difícil y costosa ejecucion, sólo inspiradas por el vano y pueril empeño de imitar las proporciones y el carácter monumental de las construcciones antiguas. De todos modos, es innegable la ventaja de las columnas de hierro fundido huecas, en general, y mucho más si se considera que ellas pueden á la vez servir como tubos de conduccion de aguas, chimeneas, etc., etc.

La relacion entre la altura de estos apoyos y su seccion es muy grande, como se acaba de ver; y de aquí nacen dos observaciones muy importantes: la primera es la poca superficie de asiento que ofrecen á la construccion superior y con que descargan en la inferior las presiones que trasmiten; la segunda es relativa á la flexion en sentido horizontal. Así, es preciso no prescindir jamás en estos apoyos de las bases y capiteles, dándoles proporciones muy acentuadas, y poniendo á las extremidades del fuste largas espigas que atraviesen aquellas partes, y vayan á penetrar en los arquitrabes y los basamentos ó pedestales. Preciso es tambien que la forma del perfil longitudinal sea la más propia para oponerse á la flexion, y por tanto que su diámetro, á mitad de altura, exceda á los de las secciones extremas. La gran distancia horizontal entre los ejes de los apoyos es una consecuencia de la mayor resistencia de ellos, á pesar de una gran esbeltez y aparente flaqueza; sin embargo, esta afirmacion no es ni puede ser absoluta, y está sujeta á las condiciones del material empleado

para las demás partes del sistema general de la construccion.

Al tratar de la decoracion de los apoyos de hierro tendríamos que abordar aquí y fuera de oportunidad, una gran cuestion del arte moderno, que iniciarémos, no más, en las siguientes lecciones, con toda la modestia que nuestra insuficiencia nos impone. Por ahora baste decir que de las mismas formas y proporciones indicadas, acentuadas las primeras y atrevidas las segundas, se deduce una manera de belleza perfectamente racional y ajustada á la verdad. Bases abiertas y como tendidas sobre los pedestales, y cuyos perfiles podrian ser semejantes al de un caveto inverso, alguna ligera moldura de union con el fuste y una ancha placa ó disco sobre el pedestal; fustes cuyo contorno aparente afecte una curva trazada con gracia; capiteles formados por cuatro ménsulas perfiladas por especies de cavetos directos y algunas veces por boceles, sustentando por el intermedio de otro disco de forma conveniente, el arquitrabe: tal podria ser la fórmula de una infinita variedad de combinaciones que se prestarian á elegantes y atrevidas disposiciones racionales y bien entendidas. Lo que no podrémos ménos de condenar es que con hierro se pretenda imitar las formas, las proporciones y los ornamentos propios de las columnas de piedra; semejante proceder, contrario á la razon y al buen sentido, pugna con la verdad, que es la primera exigencia del arte, la primera y la más esencial condicion de la belleza.

LECCION III.

ÓRDENES DE ARQUITECTURA.

En la introduccion hemos dado una idea general de lo que son los órdenes de arquitectura; tambien hemos indicado allí por qué se fija la columna, ó mejor dicho, el apoyo aislado como tipo para conocerlos y estudiarlos. Aplicando, pues, aquellas ideas generales á este caso particular, dando á conocer todos los elementos del órden en el sistema de columnas, y haciendo extensivas las mismas leyes á las demás partes de la construccion, habrémos llenado el objeto que nos proponemos en esta leccion.

La cuestion, en lo que tiene de más importante, de verdaderamente sustancial, es cuestion de proporciones; pero Proporciones.

no solamente han de ser estas consideradas en cuanto se relacionan con las prescripciones de la ciencia: ésta indica un límite, no fija un valor ó ley inflexible, dentro de la cual no quepan los preceptos del arte, que han sido, son y seguirán siendo los que impriman á las obras un *carácter*, una significacion, en armonía con los gustos, las tendencias, los hábitos y las condiciones todas de una época, *carácter* que va siempre íntimamente unido al objeto de la obra, y que es su verdadera representacion, su retrato, su reflejo.

Su importancia.

En donde no existe una ley de relaciones entre los elementos que entran á constituir un cuerpo, hay indudablemente confusion, hay desórden, y el efecto que en nuestro espíritu produce un conjunto inarmónico no puede dejar de ser desagradable, por grande que sea la perfeccion de cada una de las partes. Pues bien, la primera impresion que los sentidos trasmiten á nuestro espíritu, de la materia, del cuerpo, es la de su magnitud, la de sus dimensiones; de aquí resulta naturalmente que lo más importante es buscar las relaciones entre ellas, apreciarlas por comparacion y analizarlas bajo el aspecto de su aplicacion al objeto para que se destina el cuerpo que se considera. Las proporciones son, pues, por decirlo así, el alma de los órdenes; pero por sí solas, aunque estén enlazadas por una armonía perfecta, no bastan ni pueden bastar á constituirlos por completo, ni á darles un tipo, un carácter, una fisonomía exclusiva.

No bastan las proporciones.

En el arte no es la razon, no es el cálculo, no son ni la discrecion de la primera, ni las especulaciones del segundo, los que nos proporcionan modelos: es la naturaleza la que, en la inmensa variedad de sus manifestaciones, nos dá con

cada una de ellas un objeto para nuestra admiracion, un ideal de perfeccion y un modelo para la imitacion (1). Y si en ella un cuerpo no se nos muestra solamente por sus dimensiones, y un sistema de cuerpos no afecta los sentidos é impresiona el espíritu sólo por la relacion de las proporciones, sino por la de sus formas, la de sus colores y otras propiedades que los caracterizan y distinguen, es necesario admitir que aparecerá á nuestros ojos tanto más bella, y satisfará á nuestro sentimiento tanto más una produccion del arte, cuanto más nos parezca, cuanto más nos recuerde aquel conjunto de perfecto enlace de proporciones, de formas, de colores, etc., en una palabra, aquella admirable *disposicion* armónica que, por existir en la naturaleza, por ser la obra de Dios, es para nosotros el prototipo de la belleza.

Otras cualidades.

Es indudable que la sucesion de impresiones que un cuerpo produce en nosotros y cuyo conjunto determina una *expresion característica* de dicho cuerpo es tambien la que señala el grado de importancia de sus diferentes propiedades con relacion al fin para que ha sido creado. Primero las proporciones y las formas del cuerpo, condiciones esenciales de su existencia; despues las otras propiedades, sin las cuales puede existir, puede llenar el fin positivo de su creacion, pero pierde su carácter, su tipo. La arquitectura imita en sus disposiciones á la naturaleza; busca, primero, en las leyes que rigen la materia, las formas y las proporciones del

(1) Es esencial no dar aquí á la palabra *imitacion* el significado concreto de la reproduccion material y copia escultural de un objeto.

objeto que vá á crear, no sólo para que su existencia sea posible, sino para que, existiendo, responda al fin á que lo destina; despues se inspira en otros principios morales, relativos unos á los caractéres propios del objeto en sí, y otros á la época, á los lugares, á las costumbres, á las creencias, etc.

Idea completa de los órdenes.

Estas disposiciones, en que hay algo que es fijo, absoluto, invariable, necesario, y algo accidental y en cierto modo arbitrario, son lo que llamamos *órdenes* en arquitectura; hemos dicho tambien que lo mismo son aplicables á la edificacion completa que á una de sus partes y á estas lo mismo que á los elementos; y hemos explicado, finalmente, por qué consideramos un sistema de columnas, como el más apropiado para darlos á conocer y para estudiarlos. Pásemos, pues, á hacer su descripcion.

Egipto.

No es en Egipto en donde debemos buscar el orígen de las reglas de la arquitectura, ni de las leyes que el arte prescribe para las formas y proporciones. Los admirables monumentos de ese pueblo, revelan un alto grado de cultura; nos sorprende y maravilla la colosal grandeza de su concepcion; pero así como sus estátuas parecen sin vida, así tambien su arquitectura no acusa relacion entre las proporciones, capaz de indicarnos la existencia y la observancia de una ley de armonía. Los Griegos son los primeros que las determinan y aplican, y de ellos las toman despues los Etruscos y Romanos.

Grecia.

En un sistema de columnas hemos dicho que el miembro principal, el más esencial, es la columna, que descansa sobre el pedestal, y sostiene el entablamento. Es, pues, natural que á ella se refiera toda la disposicion. Pero la columna presenta dos elementos principales: el vertical que es su altura, y el horizontal que es su seccion transversal. Susceptibles ambos de variacion, es claro, que en tanto será el apoyo más robusto, más sólido, más firme, en cuanto mayor sea la base, es decir, la seccion transversal, si se supone constante la altura; y en tanto será más ligera, más esbelta, ménos fuerte, en cuanto mayor sea la elevacion, suponiendo la seccion constante. Se vé, pues, sin ir más adelante, que haciendo variar uno ú otro de los dos elementos, ó ambos á la vez, se puede dar á la columna el grado de solidez ó el grado de ligereza que el artista quiera ó que mejor se acomode al objeto de la edificacion. Así, la relacion que se adopte entre la altura y la seccion determina una proporcion y fija por consiguiente un punto de partida. Si la seccion es circular se la refiere á su radio, y esta dimension, llamada *módulo*, viene á ser la unidad de todas las proporciones, porque si á ella se refiere la seccion, y á esta la altura, á ella tambien, es decir, al módulo, quedará referida la columna entera.

Escala de proporciones.

En medio de la infinita variedad de relaciones que cabe establécer entre la altura y el módulo, se comprende que las condiciones de solidez imponen un límite máximo del que es imposible pasar; y las condiciones de conveniencia imponen un límite mínimo por bajo del cual la edificacion no seria habitable, seria impropia para el primero de todos sus objetos. Entre estos dos límites necesarios, infranqueables, cabe todavía mucha latitud que el arte aprovecha para acomodarse á la índole, al carácter de la obra. Porque si se concibe una escala que, partiendo del valor mínimo, se extienda por grados hasta el valor máximo, y se divide esta escala

en tres partes iguales, y estas en módulos y fracciones de módulo, cada una de dichas partes expresará todos los grados posibles que el arte es dueño de emplear sin faltar á los principios de la solidez y de las conveniencias. Suponiendo, por ejemplo, que la escala comience en *ocho módulos y medio* y se termine en *veinte módulos*, la primera parte abrazará todos los valores comprendidos entre $8\frac{1}{2}$ y $12\frac{1}{3}$: la segunda entre $12\frac{1}{3}$ y $16\frac{1}{6}$; y la tercera desde $16\frac{1}{6}$ á 20. En la primera domina el carácter de solidez, de fuerza; en la tercera la esbeltez, la ligereza, la gracia; y en la segunda un carácter medio, en que se reunen la fuerza y la elegancia; pero áun, como se vé, pueden variar y deben variar dentro de dichos caractéres generales, los tipos particulares en cada una de las tres.

Así lo comprendieron, así lo establecieron, así lo practicaron los Griegos, creando tres disposiciones, tres órdenes correspondientes á las tres divisiones que acabamos de indicar. *Orden dórico* llámase al primero; *jónico* al segundo y *corintio* al tercero. Hay en sus monumentos órdenes dóricos que varian desde $8\frac{1}{2}$ módulos hasta 12; órdenes jónicos entre $12\frac{1}{3}$ y $16\frac{1}{2}$; y órdenes corintios, aunque raros entre los Griegos, de 16 á 20 módulos. Hemos dicho que en la disposicion general del sistema existen necesariamente ciertas relaciones entre la altura de la columna y las proporciones de las otras partes; esto exige el fraccionamiento del módulo, porque haciendo intervenir en los órdenes las molduras, es preciso que sus dimensiones se aprecien en partes de la unidad, y que estas partes sean tanto más pequeñas cuanto menores los detalles del órden. Así, en el dórico, que es el más sólido, y á la vez el más sencillo, se divi-

dia el módulo en doce partes y en diez y ocho para el jónico y corintio, más esbeltos y más exornados.

Hasta aquí sólo hemos presentado las proporciones de la columna como la expresion de cada órden de arquitectura entre los Griegos; pero no es más que la esencia y una condicion de ellos. Otras proporciones y distintas formas en los miembros constituyentes del sistema vienen tambien á contribuir á la distincion completa y clara de los órdenes, y á imprimirles un carácter especial, que es en el dórico el de fuerza, y austeridad severa, elegancia y gracia en el jónico, y ligereza, galanura y riqueza en el corintio. El génio artístico de la Grecia resolvió esta cuestion con acierto admirable, como vamos á explicar.

Orden dórico.—Vitruvio atribuye el orígen de las proporciones de este órden á una imitacion de las del cuerpo del hombre. La mayor parte de los autores de arquitectura se esfuerzan en combatir esa afirmacion, y aducen para ello razones que nosotros no nos entretendrémos en examinar detenidamente; dicen unos que el pié del hombre no es, como afirma el célebre arquitecto, la sexta parte, sinó la octava de la altura de su cuerpo; otros, no dando importancia á este detalle, afirman que jamás los Griegos emplearon órdenes tan esbeltos, y admiten que las proporciones y formas del más antiguo órden conocido sean tomadas del modelo de una cabaña. Si nos fuera permitido expresar sobre este punto una opinion propia, nos atreveríamos á calificar de triviales los argumentos con que se combate la teoría de Vitrubio, y se la considera como una fábula, porque ni el ser el pié del hombre la octava parte de su altura es una verdad para los

tipos de todas las razas, ni es tampoco cierto que los Griegos jamás empleáran columnas de seis diámetros: las de *Sunium* tenian doce módulos. Creemos que la composicion de un órden, mejor dicho, del dórico, que es el más antiguo, ha nacido de la imitacion de la cabaña, imitacion tal como la entendemos y como debe, en nuestro concepto, entenderse en arquitectura, y cabaña tal como el arte griego la encuentra y la conoce, es decir, perfeccionada, transformada en construccion de madera, en verdadera edificacion, y no bajo la forma del grosero albergue del cazador que vive en medio del bosques. Este último, ya lo hemos dicho, es en nuestro concepto, el orígen de los procedimientos de construir; el otro es el orígen del arte de la arquitectura.

Pero si nos parece que es cierta en el sentido que acabamos de explicar, y en lo que se refiere á la composicion, la imitacion de la cabaña, no nos parece ménos cierta la imitacion del hombre dórico en cuanto se refiere al carácter, al tipo especial del órden, enérgico como él, varonil, austero y dotado de una severidad característica de aquella raza de bravos guerreros. No nos parece, pues, violento el conciliar ambas teorías, y encontramos tanto más natural esta solucion, cuanto que en otras citas de Vitruvio tendrémos ocasion de ver que sus descripciones están generalmente revestidas de cierto tinte poético que no permite una interpretacion literal. Otros han querido ver el orígen del órden dórico griego en cierto capitel egipcio descrito en la leccion precedente; pero el capitel no es otra cosa que un accidente del órden, y dista mucho de constituirlo.

Ningun tipo se puede presentar como absoluto del órden

dórico griego; los de los más célebres monumentos son diferentes unos de otros, si no en la esencia ni en la composicion, en los detalles de las proporciones, de las formas y de los ornamentos, lo cual demuestra que el arte griego sabia moverse con independencia dentro de los límites impuestos por la razon, y no ahogaba la inspiracion en el estrecho círculo de una fórmula precisa é inalterable. Pero para darlo á conocer completamente, describirémos el órden empleado en el Parthenon de Atenas, honor y gloria del génio artístico de aquel gran pueblo.

Sobre un basamento que sirve de asiento á toda la construccion se levantan directamente las columnas estriadas de forma tronco-cónica (1), de once módulos de elevacion, y cuya cúspide presenta un capitel moldurado compuesto del modo siguiente: un *tambor* de forma cuadrada sirve de apoyo directo al arquitrabe; es la parte superior del capitel; un *abaco* (cuarto-bocel) liso, de seccion parabólica, sostiene el tambor, y se enlaza con el fuste de la columna por tres filetes ó listeles, cuyos diámetros decrecen del más alto al más bajo. En el fuste, á poca distancia del nacimiento del capitel, existe una *ranura* sencilla, y el espacio comprendido entre aquel y ésta se halla cubierto por las mismas estrías del fuste prolongadas; ese espacio se llama *collarino*. Las columnas, como se vé, no tienen base, y esto, con raras excepciones, es comun á todos los monumentos dóricos de la Grecia. Sobre los tambores de los capiteles descansa un an-

Parthenon. L. 4, fig. 31.

(1) Se ha descubierto que el perfil no es exactamente formado por dos rectas, sino por líneas curvas, aunque de una curvatura muy poco pronunciada, no apreciable á la vista.

cho lintel, representacion de la viga ó solera de las obras de madera: es el *arquitrabe*, encima del cual se apoyan por el intermedio de un filete los *triglifos*, separados entre sí por las *metopas*, constituyendo reunidos el *friso*. Los triglifos, representacion de las cabezas aparentes de los tirantes de madera transversales de un techo, están formadas de dos *canales* prismáticas triangulares separadas por nervios rectangulares, y dos semicanales á los costados; la significacion de este ornamento no puede ser otra que la imitacion de un modo de cubrir el mal efecto que en las construcciones de madera habrian producido las cabezas desnudas de aquellas piezas. Las metopas, que son los espacios rectangulares del friso comprendidos entre los triglifos, figuraban sin duda, cuando no eran realmente, losas esculpidas fuera de obra, y ajustadas en el sitio que ocupan para cubrir el espacio hueco que debia quedar entre las cabezas de vigas representadas por los triglifos; además de lo verosímil de esta idea, la confirma la etimología de la palabra (*met-opon*=cubre-hueco). Debajo de cada triglifo y como suspendido del filete que separa el friso del arquitrabe, otro filete, de una longitud igual á la anchura del triglifo, lleva en su cara inferior seis apéndices cilíndricos ó ligeramente cónicos llamados *gotas;* parecen representar gotas de agua adheridas á la madera, antes de caer y despues de haberse deslizado por las cabezas de las vigas verticalmente. El friso se termina superiormente por un lintel y un filete saliente, sobre el cual descansa la *ceja* ó *alero* de la cornisa, cuerpo muy saliente, de seccion rectangular, liso por su cara anterior y sostenido en la inferior por unas cartelas llamadas *mútulos*, cuyas caras

más bajas son inclinadas hácia afuera y llevan gotas análogas á las anteriormente descritas; los mútulos y sus gotas corresponden verticalmente á los triglifos y las gotas del arquitrabe. Sobre la ceja, alero ó cuerpo que acabamos de describir corre una canal que figura el remate de la cubierta. Las dimensiones de las diferentes partes del órden están expresadas claramente en la figura; como ella indica, las alturas del arquitrabe y del friso son iguales.

La distribucion de los triglifos y las metopas en el friso se hacia, como hemos dicho, de manera que cada uno de los primeros correspondiese verticalmente sobre el eje de la columna respectiva, y sobre el del vano ó abertura entre dos apoyos; y como en los ángulos del edificio se debia tambien colocar un triglifo, y dichos ángulos por virtud del vuelo del capitel y del entablamento no corresponden verticalmente sobre la columna angular, habia un motivo de irregularidad en aquella distribucion, que obligaba á dar más anchura á la última metopa. Este inconveniente se salvaba haciendo menores los últimos inter-ejes de las columnas, lo cual era perfectamente razonable, porque contribuia á dar mayor firmeza á la parte angular del edificio, que es realmente la que más lo reclama.

Roma, que tomó de Grecia todas las ideas y principios Roma. L. 4, fig. 32. del arte, rara vez aplicó el órden dórico en toda su pureza y con ese sello de dignidad severa que lo caracterizaba. Las condiciones del pueblo romano eran diferentes; y diferentes habian de ser las expresiones de sus obras. Así alteran los Romanos y desfiguran este órden; le dan más esbeltez, elevando la altura de la columna hasta 14 y 15 módulos, y de-

coran con más riqueza todas sus partes. Las columnas no tienen base, y casi nunca son estriadas. Los triglifos y las metopas se sujetan á la correspondencia vertical de los primeros con los ejes, y para evitar la irregularidad que de esto resultaba en las metopas angulares se prescindia de colocarlos en los ángulos del friso. Debajo del cuerpo intermedio ó alero de la cornisa existe un ornamento particular llamado *dentículos*, cuya significacion es difícil comprender. Se suprimen los mútulos, y á la canal que en Grecia coronaba la cornisa se sustituye una faja moldurada. El arquitrabe y el friso no son ya iguales; el segundo es más alto que el primero, y éste no siempre es liso; á veces se le divide en dos partes formando un resalto. La forma de los triglifos es algo diferente, y las gotas en vez de cilíndricas ó cónicas, son algunas veces prismáticas.

En cuanto á la columna, además de la mayor altura y el menor decrecimiento del radio de la base hasta la parte superior, hay otras alteraciones muy esenciales. El tambor del capitel no recibe directamente el arquitrabe; entre uno y otro existe una pieza moldurada con un talon y un filete. El abaco ya no es parabólico, su vuelo es ménos pronunciado y su perfil en arco de círculo; ordinariamente está decorado de huevos. Debajo del capitel y á poca distancia, en el fuste, se limita el collarino, no ya por una simple ranura, sino por un *astrágalo*, pequeño cordon saliente compuesto de un junquillo, á veces con perlas, y un filete. Tal es el órden dórico del teatro de Marcelo, que se considera como el más puro y ajustado á la descripcion de Vitruvio. Pero las formas, las proporciones y la decoracion varian mucho más que entre los

Griegos; y en los adornos se advierte una variedad extraordinaria y cierta mezcla que privan al órden de su carácter distintivo.

Renacimiento. El órden dórico griego y el romano quedaron sepultados entre las ruinas de la antigüedad; y desconocidos de todo el mundo, olvidados hasta algunas veces por la misma Italia, que encerraba en su suelo aquellos admirables restos, no vienen á aparecer en la historia del arte hasta la época del Renacimiento, cuyos primeros dias no podian dejar de resentirse de la anárquica y desenfrenada licencia que imperó durante el larguísimo período de la Edad Media. Era natural que estos primeros ensayos de restauracion, pecando de exagerados en la imitacion, hasta de símbolos, cuya significacion era impropia de la época, viniesen, sin embargo, acompañados de cierto desórden y falta de fijeza en las ideas y en las expresiones. Unos arquitectos no adoptan las bases; otros las emplean; unos observan con escrúpulo la limpieza de las formas y la pureza de las líneas; otros exornan con profusion y desnaturalizan el órden.

Moderno. Pero poco á poco se fijan las ideas; la imitacion deja de ser copia servil; y se respeta, no los detalles y pequeños accidentes del órden, sino el espíritu, la esencia de la disposicion, acomodándola á otros tiempos, costumbres y creencias; así se proscribe el uso de ciertos símbolos paganos, y se dispone de alguna latitud en la decoracion de ciertos miembros. Este es el órden dórico moderno, cuyo tipo va representado en la figura 33, y que hemos tomado del excelente *Tratado de Arquitectura* de Reynaud; pero ni éste, ni los tipos que presentarémos en los otros órdenes, deben ser L. 4, fig. 33.

considerados como invariables; al contrario, su aplicacion debe, ante todo, amoldarse á las condiciones y al carácter especial del edificio que se proyecte (1).

L. 5, figs. 34 y 35. ORDEN TOSCANO.—La disposicion generalmente llamada *órden toscano*, que representan las figuras 34 y 35, es una simplificacion del dórico griego. Los triglifos no existen ó son muy sencillos; las gotas son prismáticas, y los mútulos, en vez de terminar por planos inclinados hácia afuera, tienen sus caras inferiores horizontales. Las columnas (cuya altura no pasa de catorce módulos), cuando tienen bases, presentan capiteles compuestos de tambor y cuarto-bocel y un collarino terminado por el astrágalo romano; pero á veces no tienen bases, y sus capiteles son aún más sencillos.

L. 5, fig. 36. ORDEN JÓNICO.—Compara Vitruvio las formas esbeltas y gallardas de este órden á las de la mujer. Quiere que la base figure el calzado, las estrías del fuste los pliegues del ropaje, y las volutas, que caracterizan el capitel, su cabellera

Griego. recogida. Distínguese este órden del precedente en que la columna descansa sobre una base; su altura varia de 16 á 18 módulos; y la base es *ática*, ó *jónica* propiamente dicha. La primera se compone de un toro inferior grueso, una escocia con dos filetes y un toro superior delgado, cuyas molduras reunidas completan una altura de dos tercios del módulo, que con un tercio del plinto forman, en total, un módulo; la jónic se compone de dos escocias separadas por un toro, y acompañada de filetes y junquillos, cuyas molduras y el plinto completan en altura, como la anterior, un módulo. El fuste

(1) En este tipo de órden se ha dividido el módulo en treinta minutos (30′).

es estriado, y las estrías, generalmente en número de 24 (1), son más profundas que en el órden dórico: son medios cilindros de seccion recta circular separados por listeles. La disminucion de radio desde la base á la parte supertor es ménos pronunciada; el diámetro superior es ordinariamente seis sétimos del inferior.

En los capiteles, cuya disposicion es muy variable, hay un tambor, un abaco (cuarto-bocel), y las *volutas* con los *balaustres*. Esta última parte, que Vitruvio compara al cabello de la mujer, constituye con las proporciones dichas, el carácter distintivo del órden jónico; y es sin duda más curioso que útil el conocer las varias opiniones emitidas acerca de su orígen. Sin detenernos, pues, en este punto, nos limitarémos á decir que esta forma en Grecia se presenta casi siempre como un signo fúnebre, en sarcófagos y en lechos mortuorios; pero tambien se la suele encontrar en lechos nupciales; y bien se concibe que no habiendo de comun entre estas dos aplicaciones más que la idea del lecho, puesto que las de nupcias y muerte pueden considerarse en cierto modo antitéticas, es más natural buscar el orígen de las volutas *con sus balaustres*, es decir, de esta parte completa del capitel, en su evidente analogía con los cojines y almohadones de un lecho, que atribuirlo á violentas semejanzas con hojas dobladas ó con cuernos de carnero, ó con otras cosas más raras todavía. Las volutas, vistas de frente, son dos espirales, que nacen en dos círculos pequeños, llamados *ojos de la voluta*, y que despues de varias revoluciones, se estrechan hácia el

(1) En este, como en todos los órdenes, el número de estrías es siempre múltiplo de 4. La razon es fácil de comprender.

fuste de la columna, formando una inflexion para reunirse una con otra en un seno que se vé en el punto medio de la anchura; vistas por los costados presentan una superficie curva que une los contornos de ambos frentes; dicha superficie, algo deprimida hácia su seccion media, es unas veces lisa y otras está adornada por ligaduras formadas con cordones de perlas. Por debajo del bocel, frecuentemente decorado de huevos, está el collarino adornado muchas veces con hojas esculpidas; por cima del abaco se vé á veces un juego de entrelazos. El tambor es moldurado.

En el entablamento, las diferencias principales consisten: primero, en que el friso, algo ménos elevado que el arquitrabe compuesto, de quien lo separan algunas molduras, está tambien coronado de molduras adornadas de perlas, huevos y hojas; segundo, en que hay dentículos debajo del alero ó ceja, de quien están separados por molduras adornadas; y tercero, finalmente, en que la cornisa, mejor dicho, el cuerpo superior moldurado tiene en la gola unas bocas de leon que figuran los desagües de la cubierta. Tal es el tipo del órden jónico griego. Las medidas están inscritas en la figura.

L. 5, fig. 37. En los ángulos del edificio la disposicion que acaba de ser descrita dá lugar á una dificultad artística. Siendo grande la diferencia entre los aspectos que presenta el capitel jónico visto de frente y de lado, resulta un contraste chocante en las fachadas laterales, porque las columnas angulares necesariamente presentan hácia ellas los balaustres, y las intermedias las espirales de sus volutas. Para salvar esta irregularidad, adoptaron los Griegos una disposicion espe-

Capiteles angulares.

cial que representa la figura, y que consiste en cambiar la posicion de las volutas, y de opuestas que son en su disposicion ordinaria convertirlas en adyacentes, lo que exige doblar sus planos hácia el ángulo lo necesario para que se toquen las curvas de sus contornos; este cambio se opera, no bruscamente, sino por una superficie ligeramente curva, que viene á ser un cilindro ó cilindróide. Es claro que de este modo queda evitada una irregularidad; pero se crea otra en el mismo capitel, y para salvarla se hizo extensiva la modificacion explicada á los cuatro ángulos, poniendo volutas en las cuatro caras y suprimiendo los balaustres.

El tipo del órden jónico no fué, ni áun entre los Griegos, tan respetado como el del dórico; se han encontrado columnas con formas y proporciones dóricas, decoradas con ornamentos y hasta capiteles jónicos en algunos monumentos funerarios. La unidad de carácter que el arte reclama pugna con esta mezcla, aunque se comprenda que se ha querido reunir á la seriedad dórica la expresion simbólica de la voluta.

Tampoco hay en el arte romano un tipo uniforme de órden jónico. La figura 38 representa el empleado en el teatro de Marcelo (piso superior), considerado como el más regular. La base está compuesta de dos toros y una escocia con filetes; el fuste liso, el capitel más sencillo que el griego; el tambor moldurado, el arquitrabe compuesto y separado del friso, que es liso, por molduras. Se supone que la cornisa, precedida de un cuarto-bocel adornado y de dentículos, se componia, como la figura indica, de la ceja ó alero liso entre los dos cuerpos extremos moldurados. Pero insistimos en que todo es L. 5, fig. 38. Teatro de Marcelo.

variable en las diversas aplicaciones que los Romanos hicieron de este órden; sólo la altura parece no pasar de 18 módulos, ni bajar de 16. Es liso unas veces el fuste, y otras estriado, y los capiteles dispuestos como los griegos, ó con collarino y astrágalo embebidos entre las curvas de las volutas, ó en fin, de cuatro volutas. El cuarto-bocel, casi siempre decorado con riqueza, se termina en su union con la voluta por medio de hojas. Alguna de las caras del arquitrabe, así como el friso, están á veces llenos de esculturas muy lujosas y las cornisas con dentículos, huevos, perlas y hasta cartelas, que recuerdan los mútulos del dórico.

Renacimiento. El Renacimiento, que no encontró en la antigüedad tipos fijos que copiar con exactitud, siguió las reglas de Vitruvio, que nada tienen de absoluto. Pero el arte moderno, siguiendo el mismo espíritu del griego y romano, ha procedido y procede con una independencia más cuerda y razonable. El tipo del órden jónico moderno tomado de Reynaud, está representado en la figura 39; pero es preciso no considerarlo como un modelo invariable, porque el carácter y las condiciones de la obra pueden hacer necesarias supresiones y adiciones que tienen perfecta aplicacion dentro de las prescripciones bien entendidas del arte (1).

Moderno. L. 5, figs. 39 y 40.

(1) Las figuras 40 de la lámina 5 expresan dos procedimientos, tomados del *Tratado de Arquitectura* de Reynaud, para el trazado de las volutas del capitel jónico. El primero es hecho por puntos: el ojo de la voluta es un círculo *a b c d e f g h*, cuyo centro está en la vertical que pasa por el nacimiento del talon del abaco, y á la distancia 17′ por debajo; el radio del ojo es 4′. Construido el triángulo rectángulo $A\,O\,B$ con $A\,O = 10\frac{1}{2}'$ y $A\,B = 15'$, dividido el arco $A\,C$ en veinticuatro partes iguales, y prolongados los radios correspondientes á cada division, se toman las siguientes magnitudes: $a\,1 = A\,1$ .... $b\,2 = A\,2$ .... $c\,3 = A\,3$ .... $d\,4 = A\,4$ .... etc.; y uniendo los puntos 1 .... 2 .... 3 .... 4 .... etc., queda trazada la espiral. El segundo, compuesto de arcos de círculo, es como sigue: se determina el ojo como en el primero; se inscribe un cuadrado con las diagonales vertical y horizontal; se unen los puntos medios de los dos lados opuestos, y se dividen las magnitudes $O\,1$.... $O\,2$.... $O\,3$.... $O\,4$.... en tres partes iguales. El primer arco de círculo es trazado con 1 por centro, es *a b;* el segundo con 2 por centro, es *b c;* el tercero con 3 por centro, es *c d;* el cuarto con 4 por centro, es *d e*, prolongado hasta la recta 4, 5; despues el arco *e f*, cuyo centro es 5, y los *f g*, *g h* y *h i* con los centros 6 .... 7 .... y 8 .... etcétera, y así sucesivamente. Para la espiral interior, que no debe ser paralela á la exterior, se toma por centros los puntos de division más próximos al que ha servido para trazar el arco exterior que le corresponde; advirtiendo que esos puntos de division son dados por las cuartas partes de 1 . 5 .... 2 . 6 .... 3 . 7 .... 4 . 8 .... etc. Así el filete que separa las dos espirales decrece gradualmente á medida que se arrolla hácia el ojo de la voluta.

Orden corintio.—Si los arquitectos modernos fueran, como los antiguos, escultores y pintores; si en ellos dominase más el espíritu de la belleza artística que las frias y severas prescripciones de las ciencias matemáticas; si el carácter utilitario de nuestra época no convirtiese á los arquitectos más en hombres de números que en artistas, ciertamente que el espíritu moderno no habria creado las maravillas que atestiguan su grandeza y su poder; pero seria otro nuestro juicio en las cuestiones puramente estéticas. Y es que la ciencia acostumbra á la razon á ser muy exigente y á no admitir explicaciones, ni demostraciones, ni aún descripciones que no lleven el rigorismo de una fórmula algebráica, ó la precision de una construccion gráfica. *El cuento de Vitruvio,* como se llama á su preciosa descripcion del capitel corintio, es por unos considerado como una fábula ridícula, por otros como una falta de verdad histórica, por muchos como una

cosa imposible. Nos parece trivial que tan por lo sério se quiera analizar el significado de las palabras de Vitruvio, que son la más bella y poética expresion de una cosa, por medio de un estilo parabólico..... «Muerta una jóven de Co»rinto cuando iba á casarse, su nodriza reunió en un canas»tillo algunos objetos que eran de la predileccion de aquella »infortunada, y le colocó sobre su tumba, resguardándole »con una teja de las injurias del tiempo. Por acaso, al pié »del canastillo, se hallaba una raíz de acanto, y cuando en »la primavera, brotaron las ramas y hojas de la planta, ro»dearon el cestito, treparon por su contorno, y detenidas por »los ángulos de la teja, se doblaron enroscándose en forma »de volutas.....» La idea que esta parábola dá de la forma del capitel corintio no seria seguramente más acabada, ni más clara, ni más perfecta con otra descripcion ménos poética, del conjunto de líneas que le constituyen.

Griego. En Grecia se vé una variacion gradual desde el capitel adornado inferiormente por hojas de acanto y superiormente por hojas de palmera, hasta la forma descrita por Vitruvio; es decir, un núcleo redondo en forma de cesta, cubierto y rodeado por dos filas de hojas coronadas de volutas que sustentan un tambor de lados curvos cóncavos. Con igual base y mayor esbeltez que la columna jónica, presenta la corintia el fuste y la configuracion de las volutas análogos á aquella, siendo su entablamento una mezcla de los del dórico y jónico. La última expresion de riqueza y magnificencia del capitel corintio griego parece ser la representada en la L. 6, fig. 41. figura 41; comienza el capitel por una fila de hojas pequeñas y muy numerosas, de la cual nacen otras mayores, tan aglo-

meradas que se solapan unas á otras, y cubren y ocultan enteramente el núcleo; otras hojas, en fin, que nacen por detrás de la segunda se doblan en los ángulos bajo de las cuatro volutas que sostienen el tambor; y vástagos encorvados hácia el centro forman otras volutas dobles muy abiertas, de cuyas vueltas sale una hoja de palmera que se dilata en medio del tambor. Las columnas de este órden, generalmente de 20 módulos, son casi siempre estriadas.

Pero forzoso es reconocer que en los monumentos griegos no se descubre un órden corintio enteramente caracterizado; porque si es verdad que las proporciones y el capitel son esencialmente distintos de los de otros órdenes, no es ménos cierto que además de lo variable y caprichoso del último, y la poca fijeza de las primeras, los entablamentos son una verdadera rapsodia en arquitectura, carecen de originalidad.

A los Romanos corresponde, sin duda, el honor, si no de Romano. L. 6, fig. 42. la invencion de las primeras formas, de la creacion completa y acabada del órden corintio. Nacido tal vez en Grecia, originado quizá en Egipto, pasa á Roma sin estar aún formado, y allí es en donde se desarrolla, se constituye, y aparece desde los primeros tiempos revestido de todas las galas, esplendor y magnificencia, que jamás, ni antes ni despues, se ha podido igualar, cuando se ha querido alterarlo. Las bases son jónicas ó áticas, y sus toros adornados de hojas y entrelazos; los fustes de pórfido y granito son lisos, y los de mármol estriados en toda su altura ó sólo en su tercio inferior; el número de estrías en general es veinticuatro. El capitel se compone de un núcleo en forma de copa formando el cuerpo, coronado por un platillo de cuatro lados cóncavos

moldurados, que es el tambor. El cuerpo del capitel está cubierto de tres filas de hojas: las superiores se doblan hácia el exterior sosteniendo las volutas angulares que nacen de la segunda fila, así como otras volutas más pequeñas y ménos salientes, que se reunen en el centro por debajo del medio del lado cóncavo del tambor, y dejan paso á un vástago central, á cuya extremidad se halla la rosa del capitel. Las hojas dobladas que sostienen las volutas se llaman *caulículos*. El arquitrabe está compuesto de dos ó tres cuerpos separados por molduras adornadas. El friso decorado con gran lujo, lleva esculturas figurando génios que sostienen guirnaldas ó leones ó hipógrifos, etc., y algunas veces candelabros, instrumentos ó vasos sagrados. Las cornisas no siempre llevan alero ó cuerpo intermedio, y se componen entonces sólo de los dos cimacios (1); pero en algunos casos tienen un

(1) En la arquitectura griega se llamaba *cymation* la moldura compuesta que hemos designado con el nombre de *talon*. Los Romanos aplicaron el derivado *cymatium* más especialmente á la *gola*, y algunas veces al *caveto*, en cuyo caso lo denominaban *cymatium doricum*. Lo mismo en los órdenes de Grecia que en los de Roma era usada esa moldura, acompañada siempre de un *filete*, ya en los tambores de los capiteles, ya en la union del friso con el arquitrabe, ya en la parte más alta, ó invertida en la más baja del pedestal, ó ya, finalmente, en las partes inferior y superior de la *cornisa (coronamentum)*; quedando en este caso comprendido entre las dos el cuerpo intermedio, que nosotros hemos llamado *ceja ó alero*, que Vitruvio llama *corona*, y los autores franceses *larmier*. De todas las aplicaciones que los antiguos hacian del *cymation ó cymatium*, las que han conservado generalmente dicho nombre son las de la *cornisa;* las otras han recibido nombres diferentes, que ya hemos dado á conocer.

El *apophygis*, que llamamos *copada*, es un caso particular del *cymatium doricum*, y consiste en un pequeño *caveto directo ó inverso*, que sirve para suavizar el enlace de los fustes con los *astrágalos*, los *capiteles* y las *bases*.

alero de grandes dimensiones, debajo del cual se hallan los denticulos, cuando los hay, sobre un cuerpo formado de cuarto-bocel y filete ó junquillo, el primero con huevos y el segundo con perlas; y cuando no hay dentículos, sostienen la cornisa unas cartelas muy adornadas que se llaman *modillones*, y que vienen á ser como una transformacion de los mútulos primitivos. Todas las partes son ricamente exornadas; pero, elegante y rico en los primeros tiempos, vá este órden poco á poco haciéndose más lujoso, y recargado de una ornamentacion pesada y confusa al fin, revela un período de decadencia.

Renacimiento.

El Renacimiento encontró en Roma numerosos modelos de este órden, y los imitó sin alteracion notable; lo mismo hacen los arquitectos modernos, como se vé en el tipo que hemos tomado de Reynaud, y que representa la figura 43. L. 6, fig. 43. Algunas veces en el fondo cilíndrico de las estrías y en su tercio inferior, hay unos junquillos verticales, cuyo uso es muy comun y admisible.

Si á una columna corintia se quita su capitel propio, y L. 6, fig. 44. se le sustituye el jónico de cuatro volutas que hemos dado á conocer, se tendrá una idea clara de lo que se llama generalmente *órden compuesto*, que los Romanos emplearon exornándolo con un lujo sorprendente. Véase la figura 44.

Ordenes de pilastras.

Algo hemos indicado en la leccion precedente sobre las pilastras consideradas como apoyos aislados; pero lo mismo en la antigüedad que en los tiempos modernos, casi siempre se las ha usado como cadenas en los muros, ya para recibir el arquitrabe en el extremo de una línea de columnas, ya para significar ó señalar el encuentro de dos muros, ó ya,

en fin, como un elemento cuya disposicion en las fachadas constituye un órden verdadero. Parece á primera vista que, prescindiendo de la seccion rectangular del apoyo, todo lo demás, proporciones, disposicion, decoracion, etc., podrá ser igual en el órden de pilastras y en los de columnas; pero por una parte, la igualdad de la seccion desde la base hasta la parte superior, por otra la forma rectangular de ésta y otras diferencias bien sensibles, harian evidentemente impropia la aplicacion de los capiteles de columnas á las pilastras. Ni los Griegos ni los Romanos cometieron, en general, ese error. El Renacimiento, que quiso copiar sus obras, creyó seguir los preceptos del arte antiguo haciendo una combinacion por extremo irracional, y no tuvo en cuenta que si algunas veces los Romanos lo hicieron, fué precisamente en el órden corintio, en el cual esa impropiedad no se hace notar de un modo tan chocante, á causa de la muy poca diferencia entre las secciones superior é inferior en dicho órden. Hoy se hace mucho uso de las pilastras empotradas; el mínimum de su salida del muro es $\frac{1}{10}$ y el máximum $\frac{1}{2}$ de la anchura. Algunas veces, lo mismo hoy que antiguamente, se practican estrías en sus caras, pero no en las laterales cuando es pequeña la salida.

Cariátides. Otros apoyos que algunas veces, aunque raras, figuraron en edificios griegos reemplazando á las columnas en la disposicion de un órden, son los que se conocen con el nombre de cariátides, estátuas de esclavos vestidos con traje persa, ó de mujeres representando las de la Caria, esclavizada por los Griegos. Estos órdenes, llamados *pérsico* y *cariátide* no tenian otra diferencia de los otros que la sustitucion de la

columna por la estátua. Casi nunca se aplica esta disposicion en la arquitectura moderna, y más puede considerarse su conocimiento como una curiosidad histórica que como de utilidad práctica.

Hemos concluido todos los detalles que nos han parecido más interesantes acerca de los órdenes de arquitectura. Muy divididas están las opiniones respecto de su necesidad y hasta de su utilidad. Creen unos que no es bueno, que no es bello, que es raro y extravagante todo lo que, en arquitectura, no esté vaciado en el molde preciso de las construcciones griegas ó romanas, y olvidan que entre los monumentos más bellos de Grecia y Roma no se observa semejante sujecion. Creen otros más admirables la independencia y los caprichos de la Edad Media, por cuyas trazas quisieran llevar la arquitectura. Y no faltan quienes suponen y afirman que el objeto del arquitecto debe ser exclusivamente la resolucion del siguiente problema: «levantar un edificio para un »objeto dado con la mayor economía, y las necesarias y su»ficientes condiciones de solidez, comodidad y salubridad;» y en este concepto creen que todo lo que es moldura, perfil, carácter, etc., etc., es enteramente ocioso y debe ser proscrito. Los primeros, matando la inspiracion con la regla, condenan el arte á un eterno silabeo; los segundos autorizan con una indiscreta admiracion la anarquía de que tantos ejemplos se ven hoy por desgracia; y los últimos, antes de crear su frio sistema, debieran haber pensado en crear hombres nuevos, de una naturaleza y condicion distintas de las que han tenido nuestros antepasados, de las que tenemos nosotros y de las que seguramente tendrán los de las gene-

raciones siguientes. Si fuera posible condensar en pocas palabras nuestro modo de pensar en esta cuestion tan debatida, diríamos que se debe huir de todo espíritu de sistema en arquitectura; que la razon debe presidir á toda disposicion arquitectónica, y moderar el afan de novedad, tanto más peligroso cuanto más halaga el amor propio del arquitecto, y cuanto más tiene que luchar con el hábito adquirido, con ese poderoso elemento, casi siempre incontrastable, que se llama el asentimiento público. Nuestra época, sin embargo, que ha sido creadora de materiales é industrias antes desconocidos, podrá tal vez crear un nuevo órden mejor acomodado que los del arte antiguo á esos nuevos elementos de la construccion, que cambiando los procedimientos, las formas y las proporciones, parecen llamados á cambiar tambien la fisonomía y el carácter de la arquitectura. Cuando aparezca este nuevo órden en el mundo del arte, acaso habrá tambien aparecido el poeta que cante al hierro, á la industria, al trabajo, como cantó un dia Virgilio sus inmortales *geórgicas*..... Pero..... ¡arte! ¡poesía!..... Nuestra edad parece más inclinada á dirigir sus esfuerzos por otras vías. Problemas de índole muy diversa la preocupan; las inteligencias se agitan en medio de una atmósfera de duda; están dirigidas por un frio y severo espíritu de investigacion y de análisis; y acaso no inspiradas por ese entusiasmo y ese amor á lo bello, sin cuyo concurso es difícil alcanzar la solucion del problema estético enunciado.

LECCION IV.

ARCADAS.

La distancia de los apoyos puede ser tal que haga difícil ó imposible la disposicion del sistema explicado, en que una piedra de dimensiones extraordinarias, que hemos llamado arquitrabe, está destinada á salvar el largo espacio horizontal del vano. En este caso se sustituye dicha piedra ó arquitrabe por una disposicion especial de pequeñas piedras, aparejadas de modo que, por el mútuo apoyo que se prestan, presenten toda garantía de estabilidad y resistencia. Esta estructura especial se llama *bóveda*, que, cuando sólo cubre el espesor que hubiera tenido el arquitrabe, toma el nombre particular de *arco*. De manera que podrémos decir que *arco*

Disposicion. L. 6, fig. 45.

es un arquitrabe de forma curva, compuesto por el enlace de varias piedras; y *bóveda* un arco prolongado, en el sentido de su espesor, hasta el límite del espacio que se ha de cubrir.

La semicircunferencia de círculo es la curva que se presenta como la más natural para la constitucion de la nueva forma; y, antes que la ciencia, la razon sola indica la necesidad de que las piedras afecten la figura de cuñas llamadas *dovelas*, para que unas á otras se sujeten y no caigan por su propio peso; así tambien se comprende, sin apelar á la ciencia, que siendo cuñas las piedras, y actuando como tales, tenderá cada una á separar las dos contiguas, y el conjunto producirá sobre los apoyos, no sólo una presion vertical, sinó además una accion horizontal, contra la que deben presentar suficiente resistencia. De aquí la práctica generalmente observada de hacer los apoyos de seccion rectangular, y darles la forma de piés derechos, asentados sobre *zócalos* y coronados por *impostas*, sobre las cuales se apoyan los nacimientos del arco. Sobre éste y los piés derechos se eleva la construccion superior, que se termina en una *cornisa*, cuyo objeto es conocido. Se llama *tímpano* el espacio comprendido entre la vertical del eje del pié derecho y el contorno superior del arco, que es el *trasdós*; é *intradós*, la superficie curva que limita el arco inferiormente. Una línea de arcos y apoyos se llama *arcada*.

Orígen del arco.

La forma del arco era sin duda conocida, y habia sido aplicada desde la antigüedad más remota. En Babilonia, en Egipto, en las Acrópolis pelásgicas, y en monumentos del período histórico de Grecia, ya existian construcciones abier-

tas en figura de arco. Pero todo induce á suponer que, si la forma era conocida y áun aplicada, no lo fué igualmente su estructura ó aparejo en cuñas ó dovelas, á lo ménos de una manera general y habitual. Los Etruscos fueron, segun se cree, los primeros que emplearon de este modo el arco, y lo trasmitieron á los Romanos, quienes, hábiles maestros en el arte de construir, supieron sacar gran partido de esa disposicion, y aprovechar todas sus ventajas en gran número de sus construcciones civiles (1). La bóveda y el arco, á partir de esta época, adquieren en arquitectura una importancia tan grande, que cuando caia hecho pedazos el imperio romano, y entre sus ruinas quedaba sepultada toda la grandeza del arte antiguo, la religion cristiana asociaba á sus triunfos esos elementos, y los hacia en cierto modo símbolos de sus creencias. De las basílicas cristianas pasaron á Bizancio, y adoptados por todos los pueblos, afectando formas y proporciones diferentes, y exornados por distintos motivos de decoracion, vinieron á constituir casi en absoluto el verdadero tipo de cada uno de los estilos que se sucedieron en el largo período de la Edad Media.

Proporciones.

Descrita la disposicion general de la arcada sobre piés derechos, dirémos que sus proporciones son variables y no están muy bien definidas. Se acostumbra hacer la altura de la clave (que es la dovela más alta) sobre el nivel de la parte inferior del zócalo, igual á $1\frac{1}{2}$ y á 2 diámetros del arco; la anchura del pié derecho entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ del diámetro. El espe-

(1) Los Romanos empleáron en los muros con frecuencia los arcos en descarga para aliviar el peso de la mampostería sobre un vano ó abertura practicada en dicho muro.

sor de los piés derechos varía segun el grado de solidez que deba tener la construccion. La altura de la imposta varía entre $\frac{1}{10}$ y $\frac{1}{13}$ de la del pié derecho; y á fin de evitar que oculte el arranque del arco, se le dá muy poca salida en general. Algunas otras proporciones van indicadas en un cuadro al fin de esta leccion.

Contraste entre las arcadas y las líneas de columnas.

Tal era, al principio, la disposicion de las arcadas en Roma, y así se vé que satisface á todas las condiciones de la ciencia. La disposicion, en lo que tiene de racional, está perfectamente concebida y aplicada; pero, bajo el aspecto artístico, y tomando como punto de partida y término de comparacion los órdenes de columnas, se concibe fácilmente la diferencia que el nuevo elemento introduce en la cuestion y la imposibilidad de ajustar ó de asimilar uno á otro tipo. En el sistema de columnas, apoyos ligeros, delgados, redondos, constituyen el elemento vertical; y líneas largas, pesadas masas de entablamento, tanto más pesadas cuanto más contínuas son las superficies planas que las limitan, constituyen el elemento horizontal. Lo vertical acusa esbeltez, lo horizontal pesadumbre. En el sistema de arcadas sobre piés derechos, el apoyo pesado, ancho, anguloso, constituye el elemento vertical, y el arco, aliviando la construccion superior, quitándole la masa excedente de piedra, de pesada que antes era, la vuelve esbelta y atrevida, y dá carácter evidente de ligereza al elemento horizontal. La antítesis entre los dos sistemas no puede ser más clara; y la necesidad de adoptar para la nueva forma una disposicion, un órden nuevo, debió ser patente desde los primeros tiempos del arte.

Debieron los Romanos intentarlo; pero chocaron sin duda

con una dificultad que desde luego ocurre: la forma del pié derecho, que, como apoyo aislado, es aparente por todas partes, y, más ancho que profundo, se presenta desigual y disforme por cuatro caras desemejantes; esta dificultad no existe, como se sabe, ni en la columna, ni en la pilastra, á causa de la uniformidad completa de la primera, y de la igualdad de las cuatro caras de la segunda. Era, pues, preciso, para crear un órden, comenzar por el cambio de forma del apoyo; pero no parece que los Romanos pensaron en resolver así la cuestion, y adoptaron dos procedimientos, á cual más opuesto á las prescripciones de la razon y del arte.

Arcadas sobre columnas. L. 6, fig. 46.

Fué el primero la supresion del pié derecho, y su sustitucion por las columnas, con formas, proporciones y ornamentos en todo iguales á los de los órdenes conocidos. Como se vé, no tuvieron para nada en cuenta que la mayor separacion horizontal que el arco supone, y la accion horizontal sobre los apoyos, no podian ser compatibles con la poca robustez de las columnas, tales como son en los órdenes; hay falta de armonía, que la razon repugna, en este procedimiento; pero no es eso todo: el espesor de cada arco, es decir, el espacio comprendido entre las curvas de seccion recta del intradós y trasdós, se acusa generalmente en el paramento por una faja saliente, que se llama *arquivolta;* y, siendo la cabeza de la columna de una anchura muy limitada, es inevitable que las arquivoltas de dos arcos contíguos se encuentren y queden cortadas antes de llegar á su apoyo natural. No obstante estos graves defectos, verémos que la disposicion ha sido aplicada en todas las épocas posteriores, aunque con algunas modificaciones.

Con columnas.

El segundo procedimiento que los Romanos emplearon, y que, como el anterior, ha sido admitido despues por los más afamados arquitectos, es la misma disposicion primitiva de arcadas sobre piés derechos, con la adicion de columnas empotradas en sus paramentos, ó de ellos destacadas. Estas columnas corresponden á la línea vertical media de los piés derechos, y con pedestales ó sin ellos, abrazan toda la altura requerida por el órden á que pertenecen, y sostienen un entablamento completo, cuyo arquitrabe algunas veces parece descansar, en el punto medio de la distancia entre dos columnas, sobre una cartela ó modillon, que es la misma clave del arco prolongada. El entablamento no siempre vá directamente de una á otra columna, quedando entre ellas volado, en saliente sobre el paramento de la arcada; se le acomoda en algunos casos á este paramento como si fuera su coronamiento propio, y entonces se le quiebra en doble corte recto sobre las columnas, formando lo que se llama *resalto*, y dando así á esos apoyos el carácter de contrafuertes. Se preferia generalmente empotrar lo ménos posible de las columnas para evitar que, en su encuentro con las impostas, el saliente de estas alterase el contorno aparente de aquellas. Era frecuente tambien entre los Romanos colocar sobre el entablamento resaltado, encima de las columnas, alguna estátua ó figura escultural.

Ménos irracional que el anterior, bajo el punto de vista de la resistencia, pero tan contrario como él á los preceptos del arte, este procedimiento está muy distante de resolver la cuestion de las arcadas, y por más que el uso lo sancione, y su aplicacion esté consagrada en muchos monu-

mentos importantes, la razon y el gusto parecen impulsados á condenarlo y á proscribirlo. Efectivamente, si la arcada con sus sólidos piés derechos tiene en sí las condiciones necesarias y suficientes para ser y parecer resistente..... ¿qué objeto tienen las columnas? Y si, por adoptar el sistema de resaltos, vienen á ser contrafuertes..... ¿qué razon de ser tienen estos refuerzos sobre los piés derechos, que, si de algo pecan, es de acusar resistencia y fuerza sobradas? Esos mismos resaltos de entablamento..... ¿qué son y qué significan en un miembro cuya condicion primera es la continuidad? Porque, ó el entablamento pertenece á la arcada, en donde realmente no cabe admitirlo en absoluto, ó corresponde á las columnas; pero un sólo entablamento á las dos disposiciones es una cosa chocante é irregular. Además, obsérvese que hay en el sistema aglomeracion de partes, casi todas interrumpidas, quebradas, mutiladas, como son los entablamentos resaltados, las arquivoltas cortadas en la clave, las impostas rotas y divididas, y los tímpanos incompletos. Sin embargo, ya verémos que los arquitectos de todas las épocas han admitido esta disposicion, como la precedente, á falta de otra más perfecta.

Con pilastras.

Como una variedad de la disposicion que acabamos de describir, emplearon los Romanos otra, que sólo se diferencia de la anterior por la sustitucion de pilastras á las columnas. Esto es más admisible; se presentan las pilastras como cadenas verticales en un muro, ocupando el medio de los intérvalos entre los vanos formados por los arcos, y así se explica mejor su presencia. Pero para que tengan sólo ese carácter, y no el de apoyos, es preciso que sean muy poco

salientes; y esto origina una dificultad, que no es siempre posible salvar con acierto. La pilastra ó cadena vertical, con menor saliente que la imposta, dejaria las dos porciones separadas de ésta interrumpidas en parte de su perfil sin motivo. Los Romanos salvaron esta irregularidad, haciendo estrechas las arquivoltas, de modo que viniese su trasdós á encontrar la imposta sin haber tocado la pilastra, y terminaron entonces cada porcion de imposta por una vuelta en ángulo recto, continuando sus molduras hasta el paramento del pié derecho. Esta solucion no es satisfactoria en su aspecto, y además puede exigir una disminucion poco racional en la arquivolta, que representa el espesor del arco, y tanto más irracional cuanto que, lo mismo en estas arcadas con pilastras, que en las otras con columnas, la existencia de un entablamento encima de los tímpanos aumenta extraordinariamente el peso que carga sobre el arco y obliga á aumentar tambien el espesor de éste.

Antes de pasar á ocuparnos de la decoracion de las arcadas en Roma, vamos á recorrer rápidamente los períodos de la historia de la arquitectura hasta hoy, y á describir las varias disposiones empleadas.

Arquitecturas latina y bizantina.

Hemos dicho que desde el siglo IV el cristianismo aplicó la forma del arco á todas las construcciones, y que siendo el elemento dominante en sus basílicas, pasó á serlo tambien en los monumentos de Oriente. Dos estilos de arquitectura, cuyas diferencias hemos indicado ligeramente, el bizantino ó neo-griego y el latino, tienen un lazo comun, que es el arco, sostenido rara vez por piés derechos, y casi siempre por pilares, pilastras ó columnas. La forma semi-circular, llamada

de *medio punto*, sigue siendo, como en el imperio romano, la única empleada si no la única conocida en Occidente y Oriente hasta fines del siglo XI ó principio del XII, en que bajo la influencia árabe sin duda, el medio punto empieza á sufrir transformaciones más ó ménos profundas, que van preparando la aparicion de una forma enteramente distinta, *la ojiva*. Durante el siglo XII aún existen ambas formas mezcladas en la arquitectura de las naciones occidentales (1); pero ya en el siglo XIII desaparece con el medio punto todo vestigio del arte antiguo, y reina la ojiva con entera y absoluta exclusion, presentándose hasta el siglo XVI revestida de formas variadas que no la privan de su tipo primitivo. A partir del siglo XVI recobra el medio punto su antigua y perdida influencia, y con él se enlazan las disposiciones de arcadas romanas á las del Renacimiento y modernas.

Transicion.

Ojival.

Renacimiento.

Dos elementos constituyen la arcada en lo que se refiere á su disposicion: el arco propiamente dicho, y el apoyo que lo sustenta. En la leccion II, al tratar de los apoyos aislados, hemos dado á conocer sus diferentes disposiciones, formas y proporciones (con la brevedad que impone la índole de estas lecciones) durante el largo período de tiempo citado. Con igual rapidez describirémos ahora las varias formas y disposiciones de los arcos, y la reunion de ambos elementos dará una idea de la historia de la arcada.

Aunque se supone que el arco circular de más de 180°, llamado en *forma de herradura*, fué creado por el estilo bizantino, se puede asegurar que pocas veces lo emplearon y

(1) Italia, ya lo hemos dicho, permaneció extraña á este movimiento.

que la forma de medio punto permaneció inalterable hasta que en el siglo XI el estilo romano-bizantino lo varió, ya cubriendo su intradós con cierto número (3 ó 5) de arcos de
L. 6, fig. 47. pequeño rádio *(lóbulos)*, tangentes interiormente á aquel (arcos *lobulados*), ya levantando la semi-circunferencia á
L. 7, fig. 48. cierta altura y á plomo sobre la línea de los arranques, ó mejor dicho, sobre el plano superior de las impostas (*medio punto peraltado*), ya reduciendo el arco á menor número de grados que la semi-circunferencia (arco *escarzano*), ya cortando el medio punto en la clave verticalmente (*medio arco* ó *cuadrante*) (1), ya componiéndolo por la reunion de varios arcos de círculo de radios y centros diferentes (arco *carpanel* ó *apainelado*), ya abrazando dos ó tres pequeños arcos semi-
L. 7, fig. 49. circulares por otro mayor de medio punto (*arcos geminados*), ó ya finalmente, un medio punto abrazando dos ángulos en
L. 7, fig. 50. vez de arcos geminados (arcos *geminados en mitra*). En esta misma época hay arcadas *ciegas* ó *simuladas*, que son parte
L. 7, fig. 51. de la decoracion de los muros en relieve sobre sus paramentos, y algunas veces *enlazadas* de tal modo, que los arranques de un arco son los centros de los otros. Casi siempre las dovelas son en número par, y falta por consiguiente la clave; y al fin de este período, en que, como hemos dicho, se mezclan la ojiva y el medio punto, hay arcadas de medios puntos geminados dentro de una ojiva que los abraza, ú ojivas geminadas dentro de un medio punto.

Cuando ya empieza el arco ojival á ser exclusivo en el siglo XIII, y durante los dos primeros períodos del estilo ojival

(1) Orígen del *botarel*, de que hablarémos en la leccion de bóvedas.

ó gótico, se presenta bajo cuatro formas ó variedades principales: 1.ª, ojiva obtusa; 2.ª, ojiva aguda; 3.ª, ojiva equiláterа; y 4.ª, ojiva rebajada. La 1.ª se compone de dos arcos de L. 7, fig. 52.
círculo cuyos centros están entre los arranques del arco, siendo el ángulo de los dos arcos de círculo, en el vértice de la ojiva, muy abierto. La 2.ª se diferencia de la anterior en L. 7, fig. 53.
que los centros están fuera del intérvalo que media entre los arranques. La 3.ª tiene los centros de los dos arcos en los L. 7, fig. 54.
mismos arranques de la ojiva. La 4.ª es una variedad de la L. 7, fig. 55.
primera; sólo se distingue de ella en que el ángulo de los dos arcos es ménos abierto. Todas estas formas se modificaban, ya peraltándolas, ya continuando su trazado por debajo de la línea de los centros, ó se combinaban formando arcadas ojivales, enlazadas, ciegas ó simuladas, geminadas, etc. Tambien se hacian arcadas ojivales lobuladas, y otras en que cada vano se componia de dos arcos, ó en otros térmi- L. 7, fig. 56.
nos, que entre cada dos apoyos falta uno, quedando así el arranque intermedio como suspendido en el aire con un apéndice colgado que afectaba la forma de capitel, ú otras que dirémos más adelante. En el siglo XV el arco ojival pierde sus primeras formas, apareciendo las ojivas de inflexion ó de gola, los carpaneles y elípticos con especies de fronton- L. 7, fig. 57.
cillos que los cubren. De todos los tipos descritos acompañamos las figuras correspondientes en la lámina 7.

El Renacimiento vuelve á las arcadas romanas, y al copiarlas con raras excepciones, no acierta á encontrar la fórmula buscada para constituir un órden; así, vemos que despues de algunas tentativas para alterar la forma de los piés derechos, sin cambiar su esencia, se resuelve á seguir las

trazas de Roma sustituyéndolos por columnas ó agregando á las arcadas órdenes de columnas ó pilastras. Se reproducen, pues, los mismos defectos; y aunque se trata de hacerlos desaparecer, sólo se consigue acaso atenuarlos, ya disminuyendo algo la altura de las columnas, sin alterar su radio, ya acercando su forma más al cilindro que al cono, ó ya destacando el arranque del arco de la vertical extrema de la columna para disminuir su abertura, sin aumentar la seccion del apoyo. Pero bien se alcanza que por los medios indicados, ó se alteran la forma y proporciones de las columnas, ó se falsea el nacimiento propio y natural del arco; por tanto, se atenúa un defecto, sin remediarlo ó corregirlo por completo, y para ello se crean otros no ménos chocantes. La reduccion de anchura de las arquivoltas, para evitar que se corten antes de llegar á la columna, hace aparecer dimensiones absurdas; y su completa supresion produce una lisura y extension en el tímpano, que son de un efecto detestable. La interposicion de entablamentos que separan los capiteles de las columnas de los arranques de los arcos para elevar estos, sin hacer aquellas más altas, además de no estar motivada, bastardea la disposicion por cuerpos discontínuos. La duplicacion de las columnas para aumentar la fuerza de los apoyos sin alterar las formas y proporciones del órden, justificaria, es verdad, la interposicion de un arquitrabe; pero daria lugar á un apoyo múltiple y como hueco, y aumentaria la extension de los tímpanos, cuyo exceso de peso no seria bastante compensado por la mayor robustez de los apoyos.

L. 7, fig. 58. El segundo de los procedimientos romanos fué tambien

objeto de alguna bien entendida modificacion. Un pié derecho de seccion cuadrada, y columnas delgadas y pequeñas, algo separadas á los costados, constituyen los apoyos; sobre las columnitas caen los nacimientos de los arcos, y una columna central empotrada en el pié derecho abraza toda la altura. En esta combinacion la columna grande puede con razon considerarse como contrafuerte. Cuando se empleó la pilastra empotrada en vez de la columna, para salvar la dificultad nacida del mayor saliente de la imposta, se cortó bruscamente el perfil de esta en las dos porciones separadas por el paso de la pilastra, ó se continuó por cima de ella cubriéndola y ocultando una parte de su altura. Ninguno de los dos medios es recomendable.

Todo lo que acabamos de decir de las arcadas del Renacimiento, es aplicable á las modernas de medio punto; pero el uso, más comun hoy, del arco escarzano facilita indudablemente la solucion de algunas dificultades; y el empleo de apoyos de hierro, en nuestro concepto, las hace desaparecer enteramente.

Los Romanos emplearon dos medios principales para decorar las arcadas; el primero era el de señalar por almohadillados las piedras que formaban el aparejo de la construccion; y el segundo el de significar el espesor del arco por medio de un cuerpo saliente, liso ó moldurado, que ya hemos dicho es la *arquivolta*. Cuando la construccion era homogénea de piedra, el almohadillado era aplicado á los piés derechos, á los arcos y á los tímpanos; pero cuando estos eran de materiales menudos y el resto de sillería, se le aplicaba sólo á los piés derechos y á los arcos, cubriendo los Decoracion. L. 8, figs. 59 y 60.

tímpanos con enlucidos, ó dejando en ellos aparente la disposicion de los ladrillos, si era este el material que los componia. El segundo de los medios de decoracion indicados se reducia á dar variedad á la arcada con sólo los salientes del zócalo, de la imposta y de la arquivolta. Ya hemos indicado los datos de que se parte generalmente para fijar la anchura y salida de las dos primeras partes; mas la tercera, representando el espesor de una bóveda, no estaba entre los Romanos sujeta á una ley determinada, y tanto era así, que á veces con objeto de salvar ciertas irregularidades, se consideraban autorizados para alterar sus proporciones, que fueron muy variables.

Las molduras lisas ó adornadas en las impostas, arquivoltas y cornisas, algunas figuras esculpidas en los tímpanos, y cuadros con rosas, grecas ú otros ornamentos en el intradós, completan el sistema general de decoracion descrito. Nada tenemos que añadir á lo que en otras lecciones se ha explicado sobre decoracion de columnas entre los Romanos; y así, se tiene una idea completa de la manera que empleaban para exornar las arcadas sobre columnas, si se reunen aquellas indicaciones á las que acabamos de exponer. En cuanto á las arcadas con columnas ó pilastras empotradas, la disposicion del órden con su entablamento y sus ornamentos característicos, las molduras adornadas de las impostas y arquivoltas, las claves prolongadas á semejanza de modillones, y los dibujos de los tímpanos, constituian una rica y variada decoracion.

El Renacimiento ha trasmitido á nuestra época los mismos sistemas romanos, que son los que usa el arte moderno,

con muy pocas y ligeras alteraciones. Pero se debe observar que la representacion de la arquivolta exige, para no ofrecer á la vista el aspecto, siempre desagradable, de proporciones absurdas en la parte principal del sistema, una relacion con las aberturas ó diámetros de los arcos, que no es directamente proporcional, porque se sabe que los espesores de las bóvedas no varian en razon de las luces. Como un término de aproximacion suficiente, bajo el punto de vista artístico, se podria adoptar la relacion de $\frac{1}{7}$ para luces de 3 metros y de $\frac{1}{12}$ para 7 metros, y admitir una variacion gradual entre ambos límites.

Los estilos bizantino, latino, romano-bizantino y ojival admitieron en la decoracion de arcadas una infinita variedad de ornamentos, cuya descripcion completa nos apartaria mucho del objeto de esta leccion; y así nos limitarémos á una breve enumeracion, tan breve como la que hemos hecho respecto de los apoyos aislados.

Son los arcos en la mayor parte de las naciones occidentales desde el siglo IV hasta principios del XI, obras muy impecfectas, y cuyo grosero modo de construccion se prestaba mal á una elegante decoracion. Dovelas de piedra alternadas con ladrillos, cordones salientes de uno ó dos espesores de ladrillos á modo de arquivoltas, ó más bien sirviendo de remate á la seccion aparente del arco; y todo esto aparejado con grandes masas de mortero; tal fué, durante la mayor parte de este período, la apariencia tosca de las arcadas, que sostenidas por apoyos cuadrados, descansaban sobre unas piedras cortadas en bisel, las cuales ni tenian el carácter de impostas en su forma, ni eran tampoco verdaderos capiteles.

Desde el siglo XI en adelante, acaso por la influencia bizantina, y alguna vez la de la arquitectura musulmana, se multiplican las variedades del arco circular; y sus diversas formas y las combinaciones que con ellas se hace, y que hemos dado á conocer, son ya por sí solas motivos de decoracion, que, en medio de cierto desórden, revelan gusto artístico algunas veces, y siempre inteligencia. Los tímpanos son adornados con unas aberturas circulares lobuladas (ojos de buey) que, sencillas al principio, van enriqueciéndose de molduras y creciendo en proporciones: son el orígen de las admirables rosas ó rosetas ojivales. Las dovelas suelen ser de
L. 8, figs. 61 y 62. colores diferentes. Las arquivoltas sencillas ó dobles con alfeizar, y en las arcadas lobuladas, con contralóbulos concéntricos, se decoran, como los frisos y las cornisas, con puntas de diamante, mascarones, almenas, grecas, estrellas, galones y festones con perlas, toros quebrados y torcidos, zig-zags, ondas, violetas, rombos, dientes de sierra, florones, etc., etc. El perfil es generalmente rectangular achaflanado. Los mismos adornos, y el mismo espíritu de la decoracion acompañan á las arcadas de ojiva, cuando ésta, mezclada con el medio punto, no es de aplicacion exclusiva todavía. Mas al desaparecer el arco circular por completo en el siglo XIII y empezar ese estilo, por algunos llamado gótico, disposicion, formas, proporciones, ornamentos, todo se hace ojival, todo se reviste de esa figura afilada, suelta y atrevida de la ojiva. Los arcos cuyas formas hemos explicado, sus tímpanos, sus arquivoltas, obedecen á esa misma influencia. Así los juegos y combinaciones que con los primeros se hacen, las formas de sus lóbulos y de los contralóbulos de arquivoltas,

los perfiles de estas y las rosas de los tímpanos afectan el corte apuntado; esto, unido á los ornamentos que cubren y L. 8, fig. 63.
ocultan las molduras como una tupida y espesa vegetacion, en general tambien de hojas y flores puntiagudas, constituye la decoracion de las arcadas en el siglo XIII.

El estilo ojival en las arcadas continúa en el siglo XIV con las mismas ó muy parecidas decoraciones del anterior. La ojiva se abate un poco, los perfiles de las arquivoltas son ménos agudos, las rosas son radiales y en las extremidades colgadas de algunos arcos se destacan bustos ó figuras gro- L. 8, figs. 64 y 65.
tescas de animales fantásticos. Posteriormente, en el siglo XV y parte del XVI, en que aparece la ojiva de inflexion acompañada de una inmensa profusion de ornamentos, las molduras de las arquivoltas presentan tambien cortes de inflexion, terminados en puntas de lanza, y contrastando con profundas escocias degeneradas; los intradoses se cubren con festones y especies de lóbulos múltiples con tímpanos horadados. Si algunas veces hay rosas en los tímpanos de las arcadas son las llamadas flamígeras, de que hablarémos en la leccion siguiente.

LECCION V.

PUERTAS Y VENTANAS.

Del objeto que en los edificios tienen las puertas y ventanas, y que hemos dado á conocer en la introduccion, se deducen naturalmente las principales condiciones á que debe satisfacer su disposicion. En efecto, una abertura más ó ménos ancha, y más ó ménos alta, practicada en un muro con el objeto de dar paso á las personas y objetos, ó á la luz y al aire, debe estar limitada lateralmente por los cortes hechos al efecto en el macizo, y superiormente por una piedra ó conjunto de piedras, ó mejor dicho, una pieza ó conjunto de piezas, de tal modo dispuestas que se sostengan suspendidas sobre el vano, y sean además capaces de resistir el peso de **Objeto y disposicion.**

la construccion superior. Ya se comprende, pues, la gran variedad de formas de que estas disposiciones son susceptibles, ya sean verticales ó inclinadas las líneas que limitan su anchura, ya sean simples arquitrabes ó arcos los que cierren la parte superior del vano, ó ya, finalmente, esté la abertura entera circunscrita por una curva cerrada contínua, ó un polígono curvilíneo ó mixtilíneo. De todos modos, cualquiera que sea la forma, las partes constituyentes de este elemento de la arquitectura son: 1.°, el *dintel* ó *arco*, límite superior del vano; 2.°, las *jambas,* que son sus límites laterales; y 3.°, el *umbral* (1) en las puertas, y *apoyo* ó *antepecho* en las ventanas, que forman los respectivos límites inferiores. Para dar una idea, en nuestra opinion muy justa, de la esencia de estas disposiciones, podríamos decir que la de las puertas no es otra cosa que un caso particular del intercolumnio con su arquitrabe en los órdenes, ó de la arcada; y la de las ventanas una sencilla modificacion de la anterior, motivada por la presencia del antepecho.

Egipto. En Egipto eran empleadas, en general, dos formas de abertura: la rectangular con arquitrabe (dintel), ó en forma de trapecio, es decir, con jambas inclinadas convergentes hácia la parte superior. La altura era casi siempre igual al doble de la anchura, y esta era ordinariamente pequeña, sin duda porque consideraban que dando á la luz poca entrada se impedia el excesivo calor en el interior de los edificios.

(1) En el arte de las construcciones llámase tambien *umbral* una gran viga de madera ó hierro, que en los entramados principales cubre los vanos de grande abertura, como de tiendas, cocheras, zaguanes, etc.

Pero esa regla, que se practicaba en las casas de vivienda, no era aplicable á los monumentos, en que, por lo regular, las dimensiones guardaban cierta armonía con las colosales proporciones de las demás partes. Las puertas que dan ingreso á los hipogeos, abiertas en la misma roca en que dichas tumbas se hallan talladas, son monumentos dignos de la mayor admiracion.

Grecia. Los Griegos disponian las puertas de sus monumentos, y principalmente de sus templos, casi siempre en forma de trapecio, es decir, con anchura decreciente de abajo á arriba, sin duda con el fin de disminuir el tiro del arquitrabe ó dintel. Segun Vitruvio, las proporciones de anchura y altura seguian relacion análoga á las de los órdenes; y así, habia puertas dóricas, jónicas y áticas. Coronaban generalmente las jambas unas ménsulas, sobre las cuales descansaban los extremos de una cornisa, situada á cierta distancia del dintel; de modo que sobre dichas jambas se extendia un pequeño entablamento completo. En las casas ó edificios particulares, que por lo regular eran bajas y de pocos vanos al exterior, las puertas eran pequeñas, y por lo comun rectangulares, precedidas de la figura de un perro, como para guardar la casa; las ventanas, que á veces, cuando eran rectangulares, se abrian desde el piso hasta el techo, solian tambien, segun parece averiguado, afectar formas circulares y elípticas.

Roma. Más variedad se observa en las disposiciones de puertas y ventanas en Roma, lo cual es debido al empleo del arco. Se las disponia, efectivamente, con arco unas veces, y de forma rectangular otras; tambien era comun la disminucion

de anchura de abajo á arriba; por lo demás, las disposiciones en los templos se ajustaban á los mismos principios observados por los Griegos. En las casas particulares, cuyo lujo llegó en Roma á ser extraordinario, las habitaciones no recibian, por lo comun, más luz que la trasmitida por una abertura practicada encima de la puerta; y las ventanas, cuando las habia, eran muy elevadas, y cubiertas por una piedra diáfana, ó por vidrios. Los vanos formados por las puertas no siempre estaban dispuestos para recibir hojas de madera; algunas veces las cubrian interiormente unos lienzos transparentes *(vela cærulæa)*; la principal de la casa era análoga á la de los templos, y sobre su umbral estaba representada la figura de un perro, en lo cual seguian los Romanos la costumbre griega. La altura era generalmente el doble de la anchura.

Arquitectura latina.

Cuando el arte cristiano, recogiendo y aplicando con cierto desórden los elementos del arte romano en decadencia, dió orígen á lo que se ha llamado arquitectura latina, más que las formas y las proporciones alteró el significado, la representacion simbólica de ciertas partes de la construccion. Así, se vé que en las basílicas las puertas y ventanas, ya con arcos, ya rectangulares, son iguales á las de la arquitectura romana; y, más comunmente adinteladas, se las rodea de un cuerpo saliente, segun el contorno del vano, acusando al exterior el dintel, las jambas y el apoyo, como un cuadro ó marco, llamado *telar*. Nada dirémos sobre el carácter sagrado que tenian y la veneracion con que miraban los primeros cristianos las puertas; tampoco nos detendrémos en sus diferentes nombres y usos especiales, ni, finalmente, en su número, que encerraba siempre alguna significacion mística. Los arcos de las ventanas, formando arquivoltas, eran frecuentemente de ladrillos. Las fachadas, que formaban en las primeras basílicas *piñones* (1), presentaban dos órdenes de ventanas, y sobre el más elevado, dentro del ángulo del piñon, una abertura circular (ojo de buey), que con razon se considera como el orígen de las preciosas rosas góticas; hácia las fachadas laterales las ventanas estaban en largas filas, y los vanos cerrados por losas marmóreas, en cuya superficie unas aberturas circulares, ó de otra forma, ocupadas por vidrios ó piedras diáfanas, daban paso á la luz. Las ventanas de medio punto á veces tenian sus arranques en los tambores de dos pequeñas columnas, alojadas en los entrantes formados por las jambas; las puertas rectangulares con dintel estaban cubiertas y aliviadas por arcos en descarga de piedra ó ladrillo.

Arquitectura bizantina y romano-bizantina.

Entre las alteraciones que el estilo bizantino introdujo en la arquitectura antigua se señalan las ventanas de arcos de medio punto geminados, cuya disposicion no necesitamos explicar despues de lo que hemos dicho en la leccion anterior sobre las arcadas. Pero más profundamente fué transformada la disposicion de los vanos en el largo período en que prevalecieron en Occidente (2) los estilos romano-bizantino y ojival. En el primero consérvase aún la ventana rectangular de la arquitectura romana, aunque desfigurada á L. 8, figs. 66 y 67.

(1) Recordamos que piñon es el nombre que se dá á los muros que cierran los testeros ó lados menores de un edificio de planta rectangular, cuando los remates ó partes superiores de dichos muros siguen las pendientes del tejado.

(2) Italia no siguió en general estas transformaciones.

veces por la presencia inoportuna de una columnita á modo de pié derecho en medio de la anchura (1); pero tambien figuran las de medio punto, semejantes á las de la arquitectura latina, ya con sus arranques sobre impostas en bisel, ya sobre pequeñas columnas en los entrantes; las arquivoltas suelen ser dobles y triples, formando resaltos, y algunas veces son lobuladas. Las puertas, cuando son rectangulares, tienen su dintel apoyado por los extremos en canes ó ménsulas de piedra colocados sobre las jambas; y cuando son de arco, tienen á veces claves muy salientes como descansando sobre un pié derecho ó pilar central, ó bien están cubiertas por capialzados ó cerramentos más ó ménos profundos, y no de superficie contínua, sino compuestos de arquivoltas como en escalones, cada una de las cuales lleva sus arranques sobre columnas en ambos costados; esta série de apoyos en cada derrame y la de arcos en el cerramento son ciertamente la forma y disposicion originaria de los magníficos ingre-
Transicion. sos de las catedrales góticas. Ya al final de este período romano-bizantino la disposicion varía, y en ella aparece el
L. 8, figs. 68 y 69. arco ojival, á veces mezclado en un mismo vano con el medio punto, ora presentando dos ojivas geminadas dentro de un arco semicircular que las abraza, ora, inversamente, dos arcos de medio punto geminados dentro de una grande ojiva que los cubre. En ambos casos se vé en el centro y debajo
L. 8, fig. 70. de la clave del arco superior un ojo de buey con lóbulos, más complicado que la sencilla abertura circular de los piñones en las basílicas latinas.

---

(1) Orígen del ajimez.

En los dos primeros períodos del estilo ojival, habiendo Estilo ojival.
desaparecido el arco de medio punto, las ventanas están cubiertas por arcos ojivos, casi siempre geminados, dentro de otra ojiva mayor, y tambien algunas veces dentro de cada L. 8, fig. 71.
una de las primeras están dispuestas otras más pequeñas, ge- L. 8, fig. 72.
minadas como ellas. En los espacios comprendidos entre las claves de unos arcos y la reunion de los arranques de los otros hay ojos de buey, que son ya las rosas verdaderas, al principio compuestas de pequeñas columnas que parten del L. 8, fig. 73.
centro y se terminan hácia el contorno en una série de arcos circulares, enlazados ó lobulados, con festones; mas despues estos arcos enlazados ó los lóbulos toman la forma ojival, y L. 8, fig. 74.
las columnitas son más numerosas y delgadas: tales son las rosas *radiales* que dieron carácter y nombre al segundo período. Por lo demás, en este y en el primero, las ventanas sólo se diferencian por la mayor ó menor agudeza de la ojiva, y por los distintos detalles de la ornamentacion, principalmente en los elevados frontones que casi siempre las co- L. 9, fig. 75.
ronan; pero la disposicion es la misma; en unas y otras los arcos todos nacen sobre las columnas verticales, más ó ménos delgadas y esbeltas, pero siempre finas y alargadas como si fueran varillas torneadas, que dividen la anchura total del vano.

El tercer período, último de la arquitectura gótica, presenta al principio, dentro de una disposicion semejante á la de las ventanas de las anteriores, diferencias sensibles: las columnitas no son ya redondas, son prismáticas y afiladas, y de ellas salen, como si fueran su prolongacion, nervios ondulados que se ramifican ascendiendo, y forman dibujos L. 9, fig. 76.

caprichosos, que, por su analogía con las llamas, dieron á este estilo el nombre de *flamígero*. Despues cambia la forma de la ojiva y se vuelve de inflexion, con un número variable
L. 9, fig. 77. de columnitas prismáticas. Las puertas son, ya ojivales sencillas, ya elípticas ó carpaneles, ya, en fin, de ojivas de in-
L. 9, fig. 78. flexion. Las rosas con festones ó lóbulos están llenas de una multitud de nervios prismáticos, que se cruzan y entrelazan en líneas onduladas de esa figura flamígera característica del estilo.

De propósito hemos querido extendernos algo en las disposiciones variadas de las ventanas y rosas de la Edad Media, porque, originales y esencialmente distintas de los tipos del arte antiguo, forman uno de los rasgos más bellos de esa arquitectura gótica, que ha impreso un carácter especial de grandeza y un sello de espiritualismo admirables en las construcciones religiosas.

Estilo del Renacimiento y moderno.

Con el Renacimiento, volviendo la arquitectura á las prácticas del arte antiguo, aparecen de nuevo y se emplean casi exclusivamente en las puertas y ventanas los dinteles y arcos de medio punto; así han continuado disponiéndolas
L. 9, figs. 79, 80, 81, 82, 83, 84 y 85. los arquitectos modernos, si bien adoptando con mucha frecuencia un término medio entre ambas formas: el arco escarzano. En las grandes aberturas, no pudiendo usar, como los Romanos, los dinteles de una sola piedra, y siendo difícil aparejarlos con dovelas solamente, á causa de la necesidad de cortes muy perfectos y ajustes exactos, se ha recurrido modernamente á otros medios auxiliares de sujecion y enlace, como barras y anclas de hierro, estribos, resaltos ó crucetas en las dovelas, etc., etc.; pero para evitar estos proce-

dimientos se prefiere generalmente en las obras de piedra la forma de arco, más ó ménos rebajado, lo mismo que en las de ladrillo, limitando el uso de los dinteles, con este último material, á vanos de pequeña anchura. Cuando es inevitable el empleo del dintel en aberturas considerables, se prefiere hoy casi siempre el uso de vigas simples ó dobles de madera reforzadas, ó lo que es aún mejor y más expedito, vigas de hierro laminado de seccion en I, ó formadas con planchas de palastro.

Proporciones.

Las proporciones de los vanos no pueden ser determinadas de una manera precisa; varían segun su objeto y segun su situacion en caso de ser puertas: y si son ventanas, es necesario observar que una anchura excesiva dificulta la construccion, y el extremo opuesto las hace ineficaces para su destino; entre estos límites cabe, sin duda, latitud bastante para mejor acomodar las proporciones al clima, á las costumbres de los diferentes países, y hasta si se quiere, respetando esas prescripciones generales, puede acabar de fijarlas definitivamente el carácter del edificio y el gusto del arquitecto. Por lo demás, la relacion media entre la altura y anchura está casi siempre comprendida entre $1\frac{1}{2}$ y $2\frac{1}{2}$.

L. 9, figs. 86 y 87. Disposicion en sentido del espesor.

Todas las diversas disposiciones que hemos dado á conocer, se refieren á los vanos considerados en el paramento del muro en que están practicados. En el sentido del espesor están compuestos de tres partes: 1.ª, el *cuadro* de la puerta ó ventana, que es la parte más próxima al paramento exterior; 2.ª, el *alfeizar* ó entrante destinado á recibir el marco de las maderas que han de cerrar el vano; y 3.ª, los *derrames* ó superficies planas, generalmente inclinadas hácia el para-

mento interior, y sobre las cuales se apoyan las hojas de la puerta ó ventana de madera cuando están abiertas; entre estos derrames se extiende por la parte superior una superficie curva ó algunas veces plana, que con el dintel ó cilindro que cubre el cuadro y alfeizar, segun sea su forma, constituye lo que se llama capialzado ó cerramento. Cuando las hojas de la puerta ó ventana se reducen replegándose sobre sí mismas, como las llamadas de librillo, pueden los planos de los derrames ser poco inclinados y hasta perpendiculares al de paramento, segun el espesor del muro; pero cuando no es así, ó cuando se quiere esparcir mejor la luz en un departamento, se prefiere dirigir los planos de los derrames con la necesaria oblicuidad y formar una especie de cañonera al interior. Los derrames podrian ser prolongados en las ventanas lo mismo que en las puertas, hasta el suelo; y entonces, por bajo del antepecho, quedaria reducido el espesor del muro sólo á los del cuadro y alfeizar; pero con mucha frecuencia quedan los derrames interrumpidos á la altura de antepecho, y entonces se forma por la parte interior una meseta llamada por algunos *poyo* ó *poyata de ventana*.

Decoracion. Las puertas egipcias eran decoradas con esculturas y geroglíficos; las primeras siempre tenian alguna significacion alegórica, y los segundos, interpretados y traducidos por los arqueólogos modernos, han servido de base para el conocimiento del alto grado de civilizacion de aquel gran pueblo. En las grandes puertas de los hipogeos existen bajo-relieves que contienen alusiones muy interesantes sobre la inmortalidad y hasta sobre la resurreccion. Lo mismo en

las tumbas que en los templos, en los obeliscos y en todos los monumentos, el arte egipcio esculpía en piedra la historia de sus grandezas, á la vez que la expresion de sus creencias.

Grecia. En Grecia, la decoracion de las puertas estaba principalmente en las molduras más ó ménos adornadas del telar, las que, en pequeño, imitaban las generales del entablamento del edificio, así como la cornisa que solia cubrir el dintel ó arquitrabe, y el friso que la separaba de este. Las maderas para cerrar los vanos estaban generalmente, en los templos y otros monumentos, cubiertas de bronce y tachonadas de clavos dorados; las daban mayor magnificencia preciosos bajo-relieves de marfil.

Roma. El sistema general de decorar los vanos empleado por los Romanos era muy semejante al explicado para las arcadas: almohadillados ó telares moldurados como las arquivoltas. Algunas veces en las jambas se empotraban pilastras que sostenian un entablamento con las molduras y adornos propios del órden correspondiente.

Arquitectura latina. La arquitectura latina siguió los mismos procedimientos de decoracion en Italia; pero en las demás naciones de Occidente se ven los aparejos de los arcos que cubren las ventanas, así como sus arquivoltas, presentando una mezcla de sillería y ladrillo, cuya falta de elegancia está agravada por el feo aspecto de gruesísimas capas de mortero.

Arquitectura bizantina. En Oriente, con más novedad en las formas, como ya hemos dicho, se ven las ventanas con sus arcos adornados del contraste de diversos colores en las dovelas y hasta en los sillares de las jambas, y en algunos casos alternan las

piedras con los ladrillos; pero con más esmerada é inteligente construccion, los arquitectos bizantinos dán un aspecto más bello á esas combinaciones con que alteran los preceptos de los Romanos.

Arquitectura romano-bizantina y ojival.

Las disposiciones que hemos dicho, como las más generalmente usadas para las puertas y ventanas de los estilos romano-bizantino y ojival, hacen comprender cuál era su modo peculiar de decoracion. Terminadas en arcos, ya de medio punto, ya ojivales, sus adornos más salientes están en los perfiles de las arquivoltas, que ya hemos indicado; en las rosas de los tímpanos, que tambien hemos descrito para cada período; en los cruzamientos y enlaces de los nervios verticales, horizontales y ondulados, dispuestos en el interior de los vanos; en las magníficas vidrieras pintadas que cubren los espacios huecos y esparcen sobre las naves de las iglesias rayos de luz de distintos colores y de un efecto admirable y grandioso; en los ornamentos de mil variados dibujos que cubren las molduras de arquivoltas, los intradoses, los trasdoses, las jambas, etc.; en los festones y lóbulos; en los frontones de corchetes que las coronan, y las dan mayor esbeltez y atrevimiento; y finalmente, en la riqueza y profusion con que, sobre todo en el último período, se las cubre de bordados, hojas, ramos, flores, etc., hasta el grado de no distinguirse apenas una sola parte lisa.

En los ingresos de las iglesias, y como cubriéndolos por su parte superior, se disponia un cuerpo en relieve á modo de dosel ó pabellon; este cuerpo, ornamento característico de la arquitectura ojival, varió de un período á otro en su composicion; pero en la esencia, siempre fué una especie de modelo, tallado en la piedra, de un monumento completo acomodado al estilo del templo en cuya portada se le colocaba. Unas veces representaba un castillo, otras veces una iglesia, otras una bóveda por arista vaciada dentro de un capitel prismático de seccion poligonal, en cada una de cuyas caras aparecia una ojiva formando pechinas, y coronado de un pináculo. L. 9, figs. 88, 89 y 90.

Réstanos sólo añadir en lo que á este período se refiere, que el amor al clasicismo y hasta si se quiere, las prescripciones del arte pueden con justicia condenar tanta aglomeracion de ornamentos, tanta libertad y capricho en las decoraciones que acabamos de trazar ligeramente; pero se puede tambien asegurar que enfrente de las magníficas portadas y de las admirables rosas y de las atrevidas y arrogantes ventanas de una catedral gótica, la severidad fria de la crítica se detiene, y ante el aspecto grandioso é imponente de su conjunto, antes que la razon juzgue, el alma siente una impresion que la domina y la embarga por completo.....

Renacimiento.

Lo mismo que habia imitado el Renacimiento las disposiciones romanas, adoptó casi servilmente sus sistemas de decoracion en las puertas y las ventanas. Como los antiguos, las decoraron los arquitectos del Renacimiento por medio de almohadillados, ó señalando, en cuerpo saliente los telares; como ellos, las molduraron y adornaron á modo de arquivoltas; como ellos, tambien empotraron pilastras ó columnas en las jambas, sobre las cuales pusieron entablamentos completos; como ellos, emplearon modillones debajo de la cornisa; como ellos, finalmente, decoraron los frisos, adornaron los tímpanos, y labraron casetones en los aleros, dándoles

un vuelo extraordinario. El Renacimiento algunas veces añadió á uno y otro lado de las partes verticales del telar, unas cadenas, llamadas *contratelares*, que sostenian las ménsulas ó modillones de la cornisa; y por debajo de las ventanas un pedestal ó basamento, en relieve sobre el muro, y sobre el cual se asienta el apoyo ó antepecho. Tambien se solia cubrir puertas y ventanas con frontones, como en las antiguas construcciones.

Arquitectura moderna. En los tiempos modernos se sigue un sistema muy parecido, por no decir enteramente igual, en la decoracion de los vanos, que con frecuencia es excesiva y exuberante. En los telares lisos ó moldurados se asigna á sus partes dimensiones variables con el carácter del edificio; pero por término medio, se dá al telar una anchura igual á $\frac{1}{5}$ de la abertura del vano; un poco ménos al friso, si no lleva adornos ó inscripciones, y más si los lleva; la altura de la cornisa es siempre algo menor que la anchura del telar; en algunos casos la parte horizontal de éste, que representa el dintel, tiene mayor anchura que las verticales ó jambas. La arquitectura moderna no se sujeta rigorosamente á los órdenes en el modo de decorar las puertas y ventanas, y mejor quiere acomodar el lujo y la riqueza, ó la sencillez y la austeridad de este elemento, al carácter general del edificio; esto es perfectamente razonable; pero no lo es ciertamente que esa latitud lleve á una licencia que autorice á multiplicar diferentes formas y á encorvar frontones, á interrumpirlos, á doblar ó quebrar dinteles, y otras demasías de esta especie, que son por desgracia bastante comunes.

Las puertas interiores de un edificio, y las ventanas elevadas del piso superior no llevan cornisas; en las primeras carecerian de objeto, y en las segundas se confundirian con el coronamiento general de la construccion. Debajo de las ventanas del piso bajo, y como sosteniendo su apoyo ó antepecho, dos ménsulas adornan y limitan por ambos lados ciertas aberturas, cuyo objeto es dar luz á los sótanos.

Nada hemos dicho sobre las ventanas que se llaman *apaisadas*, que sólo se diferencian de las otras en su menor altura que anchura, y cuyo uso les dá una importancia secundaria. Por la misma razon no hemos hablado de las que dan luz á los desvanes y que, más aparentes al exterior, debieran ser de un aspecto más agradable que el que generalmente tienen, aunque no tan lujosamente exornadas como en algunos edificios de la Edad Media.

Dos palabras para concluir. El hierro, ese elemento poderoso de la construccion moderna, tambien se aplica á las puertas y las ventanas, y aunque esta aplicacion no está todavía muy extendida, todo hace presumir que será mayor cada dia. No se puede, en efecto, dudar que seria muy ventajosa la sustitucion de bastidores de hierro con cristales á los de madera que generalmente cubren los grandes vanos que median entre los pilares, piés derechos ó columnas de los pisos bajos; los dinteles formados por vigas de hierro, las jambas por las columnas huecas fundidas, y el bastidor como acabamos de indicar, formarian un conjunto que, susceptible de toda la ornamentacion que se deseára, seria más conveniente que los sistemas hoy usados.

En los muros de entramado de hierro, no es preciso decir que los vanos quedan constituidos por las mismas piezas de

hierro que sirven de postes y las transversales que las enlazan; los postes que sirven de jambas, y las piezas que cierran el cuadro, pueden ser tan exornados como se quiera, ya porque en las mismas fábricas se preparan piezas rectas molduradas, ya porque se las podria pintar y hasta dorar con más ó ménos lujo. Ya se comprende que el empleo del hierro en esta, como en otras partes elementales de la arquitectura, reclama proporciones, formas y carácter de ornamentacion nuevos y especiales como son las condiciones del material.

Nada hay que explicar sobre las puertas y ventanas abiertas en entramados de madera; porque el conocimiento de la estructura de estos excusa de entrar en detalles sobre las disposiciones de aquellas.

LECCION VI.

TECHOS.

Entre los elementos horizontales que figuran en las construcciones, como partes esenciales de ellas, hemos puesto en primer lugar los techos; y bajo este nombre hemos dicho que comprendíamos toda disposicion destinada á cubrir un espacio habitado. Variables estas disposiciones, no sólo en sus formas, sino en las clases de materiales que las constituyen, y compuestas de diversas partes, cuyos destinos son diferentes, es necesario empezar su estudio por el conocimiento claro de cada una de ellas. Objeto.

Todos los edificios deben estar resguardados y cubiertos por una construccion que, aislándolos de la atmósfera libre,

los preserve de su influencia directa é inmediata. Así, pues, además de los muros, que llenan una parte de ese objeto, se dispone en la superior de los cuerpos de habitacion un sistema ó aparejo de materiales, de tal modo concertado, que aquel aislamiento sea real y verdadero. Tales sistemas pueden ser compuestos de piedras, de madera ó de hierro, ó de la combinacion de dos de dichos materiales.

Condiciones y diversos modos de cubrir.

Naturalmente se deducen de su objeto mismo algunas condiciones que á todas son comunes:

1.ª La superficie exterior, la que recibe de una manera inmediata y directa la accion de la humedad atmosférica, bajo cualquiera forma que se manifieste, debe ser de tal figura y de tal naturaleza que evite su trasmision al interior: es la *cubierta*.

2.ª Para sostener esta cubierta es necesaria una disposicion bien entendida, que, sustentada por los muros ó apoyos del edificio, tenga las debidas resistencia y estabilidad; esta disposicion puede ser formada por una série de piezas horizontales de piedra ó madera, que hemos dado á conocer con el nombre de *friso,* apoyadas por sus extremos en los *arquitrabes*, que coronan los muros ó líneas de apoyos aislados: es la *azotea*, conocida y aplicada desde los tiempos más antiguos.

3.ª Puede ser un conjunto de cuerpos de madera ó hierro enlazados y articulados de un modo conveniente, y con direcciones más ó ménos inclinadas, y formas más ó ménos variables: son las *armaduras*.

4.ª Pueden ser macizos compuestos con grandes ó pequeñas piedras naturales ó artificiales, unidas de modo que se pueda considerar su conjunto como si constituyera un sólido compacto; estos macizos, estos sólidos, son sustentados por muros ó apoyos, segun los casos; su superficie interior puede afectar infinita variedad de formas, y la exterior, que ha de recibir ó servir de asiento á la cubierta, se halla en contacto directo con esta, ó la sostiene por mediacion de otro material de relleno: tales son las *bóvedas;* y las dos superficies que las limitan interior y exteriormente se llaman *intradós* y *trasdós*.

Los edificios no siempre son de un sólo piso; y cuando son compuestos de varios, cada uno de ellos debe estar naturalmente separado del que le precede y del que le sigue por *bóvedas* ó por disposiciones análogas á las de las azoteas: son los *suelos*, que pueden ser de piedra, madera, hierro ó mixtos.

Cada una de las disposiciones descritas, que cuando cubre todo el edificio se designa bajo el nombre genérico de *techo*, y cuando separa dos pisos el de *suelo*, consta, pues, de varias partes elementales, que son las siguientes:

1.ª En el *techo del edificio:* la *cubierta*, que, si es de azotea, está revestida por el *terrado* propiamente dicho, y si de armadura, por el *tejado;* el *cuerpo*, que en el primer caso es el *envigado*, en el segundo es la *armadura*, y cuando es abovedado el techo, constituye la *bóveda* propiamente dicha; la parte interior aparente de la disposicion, ó lo que algunos llaman el *cielo* de la habitacion, y que generalmente lleva el nombre particular de *techo*, ya corresponda á la reunion de vigas de la azotea, ya al conjunto de piezas de la armadura, ó ya al intradós de la bóveda.

2.ª En los *suelos:* el *pavimento*, ó parte superior de la disposicion, que es el área contínua y plana que pisan los piés;

el *cuerpo*, que cuando los suelos son de madera ó hierro, se llama *entramado*, y cuando son abovedados, constituye la *bóveda;* y finalmente, la parte aparente inferior, que lleva el nombre particular de *techo*, cualquiera que sea la disposicion.

Los elementos que se presentan aquí á nuestro estudio son, por su órden, los siguientes: 1.°, *techos* (1) *y cielos horizontales;* 2.°, *armaduras;* 3.° *bóvedas,* y 4.°, *pavimentos y terrados.*

I.

ENVIGADOS Y ENTRAMADOS DE AZOTEAS Y SUELOS.

Techos y Cielos.

Si sobre las partes más elevadas de los muros, ó las cabezas de los apoyos aislados que limitan un espacio habitado, se considera una pieza prismática de piedra ó varias en prolongacion unas de otras, y tendidas horizontalmente, y sobre su plano superior se imagina una série de grandes losas justapuestas, y formando una superficie contínua por el enrase de sus caras más altas, se tendrá una idea muy clara de la primera forma de la azotea. Así las construyeron los

(1) Seria muy conveniente que el uso autorizase el empleo de dos voces distintas para la expresion *general* de *techo,* y la *particular*, que acostumbramos designar con igual nombre. Y si no hubiésemos temido romper con el hábito, acaso habríamos adoptado para el segundo caso la palabra *techo,* y para el primero la palabra *techumbre*, que generalmente se emplea hoy para significar los de mucha altura é importancia en edificios de consideracion.

más antiguos pueblos del Oriente; así se ven en los restos de monumentos egipcios; así las aplicaron los Pelasgos en los primeros tiempos de la Grecia. La disposicion, en efecto, aparece tan sencilla, tan natural, que no se puede dudar que fuera la primera manifestacion del arte. Se comprende, sin embargo, que las dificultades de labrar, transportar y colocar en obra las enormes losas, y la necesidad de multiplicar de una manera asombrosa el número de columnas de dimensiones jigantescas, debieron sugerir la idea de acudir á la madera; y de las disposiciones que creó el empleo de este material deducir despues nuevos procedimientos aplicables á la piedra.

Esta fué ya obra del arte griego. Indicada desde luego por la razon la conveniencia de hacer los arquitrabes con piezas de madera escuadreadas (soleras), de tender sobre ellas las vigas en direccion perpendicular á la de las primeras, y de cruzar por cima de las segundas otras piezas de menor escuadría, en que descansára una série de tablones unidos con su cubierta, quedó constituida una disposicion completa que sirvió de tipo para las construcciones de piedra. Así se vé en estas desde el interior de las naves, salas, pórticos y galerías, en cuyos techos se imitára dicho sistema, una disposicion que lo acusa, destacándolo á la vez con suma claridad y limpieza: allí las vigas de piedra, cuyos extremos descansan en los arquitrabes, reemplazan las de madera que están sostenidas por las soleras; allí las losas, de dimensiones relativamente pequeñas, colocadas encima de las vigas y justapuestas, figuran, ó mejor dicho, son lo que los tablones del techo de madera; allí las cintas ó nervios de

Grecia. L. 10, fig. 91.

L. 10, fig. 92.

piedra, paralelos á los arquitrabes, que dividen é interrumpen la continuidad de la superficie inferior de las losas, no son otra cosa que las piezas de menor escuadría, que en la obra de madera cubren las juntas de los tablones; y allí, finalmente, los espacios huecos formados por el cruzamiento de vigas y nervios, y cuyo fondo es el plano inferior de las losas, esos espacios en que queda así subdividido el techo, y que lo mismo pueden afectar las formas rectangulares sencillas con que acabamos de describirlos, que otras más variadas y caprichosas, son evidentemente los que el sistema de construccion de madera deja tambien entre las piezas similares de su disposicion. A las subdivisiones que en ambos casos quedan formadas en los techos se dá el nombre de *casetones*, que, como se vé, podian ser de piedra ó de madera.

Si sobre la capa de tablones, en un caso, ó la de losas que le sustituye en otro, se considera una capa que la preserve de la accion de la lluvia y de las otras influencias atmosféricas, se tendrá conocimiento del *terrado*, que con las demás partes explicadas, constituia el conjunto de un *techo* de azotea entre los Griegos; y si aquella cubierta en vez de estar directamente expuesta á la atmósfera exterior, y servir de remate al edificio, habia de constituir el asiento ó la base de otro espacio habitado, formaba entonces el *pavimento*, que con las partes restantes descritas, integraba el conjunto de un *suelo* completo. Los Griegos rara vez construian edificios de varios pisos, y por tanto la disposicion precedente, como suelo, era poco usada.

Roma. El arte romano en nada varió las disposiciones que de los Griegos tomára para aplicar á este elemento de arquitectura. Solamente dirémos que, más afectos los Romanos á la vida de la ciudad, y al lujo y ostentacion, los edificios particulares adquieren entre ellos más desarrollo y mayor importancia; se componen generalmente de varios pisos, y son por esa razon más empleados que en Grecia los suelos.

Arquitectura latina. En la arquitectura latina parece que fué muy comun establecer por debajo de las armaduras de los techos en las primeras basílicas un suelo, cuya parte inferior servia de techo, con ó sin casetones, á las naves de la iglesia; la disposicion de estos techos era la misma que la empleada por los Romanos.

Bizantina. En las construcciones monumentales bizantinas ó neo-griegas no aparecen los techos de madera; pero á pesar del empleo casi exclusivo de las cúpulas y de las azoteas de piedra, todo induce á creer que las disposiciones de los techos de azotea y de los suelos en los edificios particulares eran semejantes á las del arte griego antiguo.

Edad Media. Los techos y suelos de la Edad Media (1) han podido, en concepto de muchos, parecer originales; nosotros, creyendo que en los detalles de exornacion hay, más que novedad, una antes desconocida aglomeracion, no siempre del mejor gusto, no descubrimos en nada de lo que constituye su disposicion diferencia alguna que los distinga de los antiguos techos de madera griegos y romanos. ¿Qué es, en efecto, lo que en ellos se descubre? Un sistema de vigas empotradas en los muros ó apoyadas en cuerpos volados á modo de cor-

(1) Entiéndase que no nos referimos á los monumentos religiosos, en donde la disposicion exclusiva de los techos era la de bóvedas, como más adelante dirémos.

nisas: sobre esas vigas, ó ensambladas con ellas, otras piezas de madera de menor escuadría, y finalmente, tendida encima de estas últimas las tablas que llenan el pavimento. Más ó ménos complicadas las formas de las secciones transversales de esas piezas, el conjunto afecta siempre la misma disposicion, que presenta al interior una subdivision en casetones igual, idéntica á la antiguamente conocida y aplicada. Que dejaron aparentes los arquitectos de la Edad Media las partes todas de la estructura, y procedieron así con arreglo á la razon, es verdad; pero de aquí nada se puede deducir, si no es que siguieron y conservaron en esta parte las prácticas y tradiciones de la antigüedad, y no que inventaron un nuevo procedimiento. Si los elogios que por esto les prodigan los incondicionales apologistas de la arquitectura de esa época, quieren envolver una censura á los procedimientos modernos empleados para disponer los techos, dirémos que la justicia de esta crítica es evidente, como ahora vamos á ver, y que para hacerse patente no se necesita el contraste con aquellas infundadas alabanzas.

Pero ese respeto al arte griego y romano, por parte de los
L. 10, fig. 93. arquitectos, no fué general; porque en el siglo XV ya se muestran las bovedillas de ladrillo entre las vigas, ya se ven las masas acanaladas de yeso y de mortero rellenando los espacios huecos; y ocasionando así el contacto de esos materiales con la madera, queda ésta oculta y sumergida, en parte, en la mezcla del relleno, ó en la mampostería de las bovedillas, privada de ventilacion y expuesta á podrirse con facilidad. Ya se presentan tambien en los últimos siglos de la Edad Media, entre otras disposiciones caprichosas, las de vigas

triangulares unidas por dos de sus aristas, y con la tercera saliente hácia abajo, formando una série de diedros entrantes y salientes, en los que algunas veces se achaflanan las aristas de los segundos, y se ocupan con listones prismáticos los fondos de los primeros. Estas llamadas por algunos graciosas combinaciones son impropias del arte, por ser absolutamente inmotivadas.

El Renacimiento, al querer revivir las disposiciones de la arquitectura antigua, buscó acaso más modelos de techos que imitar en Roma que en Grecia, y así se explica que se separára bastante de los preceptos racionales, y trasmitiera á los arquitectos modernos procedimientos que son sin duda viciosos é inconvenientes. Quisieron copiar los grandes casetones del templo de Marte Vengador, y al tocar la dificultad de procurarse las grandes piedras que la disposicion requeria, creyeron, sin duda, que la salvaban de dos maneras: ó cubriendo el techo de madera con enlucidos ó estucos que figurasen piedra, ó aparejando los techos por medio del enlace de piedras pequeñas ó dovelas, cuyas caras inferiores, formando una sola superficie plana horizontal, constituyesen el techo ó cielo *adintelado*. El primer medio, ocultando y cubriendo las maderas, conspira contra su conservacion, y además muestra á la vista dimensiones, que no sólo son simuladas, sino que tambien, al imitar la piedra, en tanto son más absurdas, en cuanto mejor representan su aspecto físico. El segundo no es siempre posible en la práctica, sin el auxilio de grandes complicaciones en el corte de las piedras, y áun de ese modo, los muros que sustentan los techos así aparejados tendrian que estar muy fatigados por consi-

Renacimiento.

derables empujes. Y si para contrariar estas acciones se apela al recurso de barras de hierro embebidas en el espesor de la construccion, se cae en otro inconveniente: la posible destruccion del metal, que no se puede salvar por ignorarse su estado, á causa de estar escondido.

Arquitectura moderna. La arquitectura moderna, siguiendo el mismo vicioso sistema del Renacimiento, ha empleado y emplea aún iguales procedimientos para disponer los techos de azotea y los suelos que separan los diferentes pisos. Pero una gran modificacion ha venido en los últimos años á introducir disposiciones nuevas, que se fundan en el empleo del hierro, y que, generalmente adoptadas ya, lo mismo en edificios públicos que en casas particulares, resuelven satisfactoriamente todas las cuestiones relativas á esa parte de la arquitectura.

Hierro. L. 10, fig. 94. Pocas palabras bastarán para describirlos. Vigas paralelas de hierro de seccion transversal, cuya forma es variable, pero que generalmente es ⌶, están empotradas en los muros, y mantenidas á iguales distancias entre sí, por medio de barras ó piezas transversales del mismo metal, cuyas formas y enlaces tambien pueden variar. Sobre estas últimas piezas transversales, y á ángulo recto, se dispone otra série de varillas de hierro, formando entre unas y otras una especie de red ó cuadrícula, que juega al nivel de la cara más alta del brazo inferior de la ⌶ de las vigas. Por debajo de dicha red se aplica el enlucido ó revestimiento de yeso que forma el techo ó cielo de la habitacion inferior; y por encima se establece entre cada dos vigas la masa de relleno, cuya disposicion es muy variable, y que se cubre con las piezas que llevan el pavimento del piso superior, ó cuando es

techo de azotea, el terrado de la cubierta. El poco espacio que quitan á las habitaciones, la incombustibilidad, la sencillez y solidez de la construccion, la fuerza con que retiene los muros del edificio, la posibilidad de hacer los enlucidos sin perjuicio del material, y la economía que resulta, no sólo por el menor peso y volúmen, á igualdad de resistencia con los otros sistemas conocidos, sino por su mayor duracion que los de madera: tales son, entre otras, las ventajas más notables de la disposicion moderna que acabamos de explicar.

Antes de pasar á la decoracion de los techos, bueno es advertir que en las *Lecciones de Carpintería* se estudia con todo detalle, y de un modo especial, la construccion de suelos y techos de madera; que en las de *Corte de piedras* se aprende del mismo modo la construccion de techos adintelados, y que en las de *Obras de hierro* se enseña con toda extension la manera de construir los suelos y techos de hierro. Por esa razon aquí no pueden ni deben tener cabida esos detalles, que, sobre ser supérfluos, serian impropios.

Decoraban en Grecia los techos las formas variadas y elegantes de sus casetones, las molduras adornadas en las aristas de las vigas y de los nervios transversales, las estrellas doradas en el fondo azul formado por las losas ó tablones, el pulimento de los mármoles, ornamentos de bronce y algunas veces rosas y hojas pintadas ó esculpidas. Decoracion. Grecia. L. 10, fig. 92.

Los techos romanos eran exornados del mismo modo que los griegos; pero los casetones casi siempre eran mayores, y á veces abrazaban todo el espacio horizontal de un intercolumnio. Las caras inferiores de las vigas estaban con fre- Roma. L. 11, fig. 95.

cuencia decoradas de grecas; y en pinturas, rosas y una gran variedad de ornamentos se desplegaba un lujo y riqueza extraordinarios.

Arquitectura latina y bizantina. En las basílicas cristianas, los casetones en techos frecuentemente de madera eran adornados con pinturas; y en los monumentos bizantinos las formas abovedadas, de que más adelante hablarémos, y que por todas partes dominaban, quitaron toda importancia á los techos planos, que rara vez ó casi nunca figuraron en ellos.

Edad Media. Los de la Edad Media, de madera como ya hemos indicado, recibian varias clases de ornamentacion: unas veces las vigas eran molduradas en sus costados, dejando una parte lisa en sus caras inferiores; otras veces las molduras ocupaban toda la cara de paramento de la viga y como las dos terceras partes de la altura en las caras de espesor; en este caso la parte plana inferior quedaba reducida á un filete muy estrecho, y en algunas ocasiones á una arista viva muy afilada. L. 11, fig. 96. Tambien se acostumbraba añadir á las molduras algunas obras de talla en las cabezas de las vigas, sobre las superficies aparentes de las soleras y en los grandes cuadros del fondo de los casetones, en donde algunas veces se colocaron vitelas ó pergaminos plegados.

Las molduras y los adornos eran de una forma y gusto análogos á los de las arquivoltas de piedra de la misma época; y dominaban, por consiguiente, los toros desfigurados, mutilados, interrumpidos, y las escocias degeneradas, tan comunes en ese período.

Renacimiento y arquitectura moderna. La arquitectura del Renacimiento y la moderna, disponiendo un estuco ó enlucido contínuo para formar los cielos, han dado campo á la escultura y la pintura para desplegar sobre ellos los recursos y las galas de su arte. Ya hemos censurado la disposicion; pero, admitida ésta, no vemos qué puede haber de poco razonable ó impropio en ese modo de decoracion, què nos parece, al contrario, muy natural y susceptible de todos los grados de riqueza y elegancia.

En los techos que forman la parte inferior de los suelos de hierro, además de los mismos medios de decoracion que acaban de ser explicados, existe otro que es de la mayor elegancia y sencillez: consiste en cubrir los espacios huecos que dejan las vigas de hierro entre sí, por piedras de mármol pulimentadas en la cara inferior, que ha de quedar aparente, despues de hacer descansar la losa sobre los brazos inferiores de las I. Las juntas de las losas pueden ser cubiertas con junquillos pintados, y dando el mismo color á la parte saliente de la I, queda el techo decorado. Y aún se podria hacer más rica la exornacion, colocando los junquillos de bronce ó cobre sobre las juntas y sobre los brazos por medio de tornillos cuyas cabezas afectáran formas escogidas.

II.

ARMADURAS.

Aunque en los tiempos más antiguos de la historia debian ya existir, y consta que existian, estas disposiciones para cubrir los edificios, no son, sin embargo, bien conocidos los detalles de la construccion. Por otra parte, eran mu- Orígen.

cho más empleadas las azoteas, sobre todo en los templos, palacios y otros monumentos, y así no es extraño que la importancia de aquel modo de cubrir haya venido á manifestarse en épocas posteriores. Que existian y eran aplicadas estas disposiciones en Grecia, no obstante el uso más general y casi absoluto de las azoteas, lo demostraria una induccion rigorosa, cuando no bastára á proclamarlo la fé en las tradiciones, porque á la vista está la composicion de los entablamentos en los órdenes, copia fiel de las diferentes partes de aquellas, y clara tambien se ostenta en los frontones su forma característica. Mas en donde la cuestion presenta más dificultad, y ofrece más interés sustancial que histórico para el arte, es en el conocimiento detallado de las diferentes piezas que entran á constituirlas y de sus enlaces respectivos. Llega esta duda, segun algunos autores, hasta el grado de considerar muy discutible la afirmacion de que ciertos templos griegos tenian la nave central descubierta, como parece indicarlo Vitruvio. Sea de todo esto lo que quiera, nos vemos precisados á tomar en Roma el primer tipo de armadura ya compuesto, y casi con la misma disposicion, en la esencia, que las que hasta hace poco tiempo han sido generalmente empleadas.

Disposicion. Siendo el objeto del elemento de arquitectura de que vamos á ocuparnos, el preservar la parte interior de los edificios de la influencia directa de la atmósfera, se comprende fácilmente que no basta para ello sólo el cubrirlos; es preciso que el cuerpo establecido sobre los muros, impida de un modo eficaz y absoluto la filtracion, á través de su masa, de las lluvias ó de la humedad procedente de otros meteoros

acuosos. De aquí se deduce, desde luego, la necesidad de que su parte exterior, la destinada á recibir las aguas y á impedir su penetracion en el edificio, la *cubierta*, en una palabra, sea primeramente impermeable, y, además, dé á aquellas la más fácil y pronta salida posible. Lo primero se consigue empleando ciertos materiales que despues darémos á conocer; lo segundo se alcanza componiendo la superficie de la cubierta de una ó varias caras inclinadas, planas ó curvas.

Pequeñas aberturas. Fijándonos en las planas, que son las más admitidas y usadas, observarémos que un sólo plano con la inclinacion que se creyese necesaria, resolveria satisfactoriamente la cuestion; pero como no siempre es posible, en grandes aberturas, asegurar á esta sencilla disposicion toda la solidez necesaria, sin crear inconvenientes graves, se ha aumentado el número de planos, formando un ángulo diedro, cuya arista corresponde al medio de la abertura. De manera que, si como es lo más comun, el edificio es de planta rectangular y cerrado por cuatro muros, los planos inclinados estarán limitados horizontalmente por sus intersecciones con los muros que se levantan sobre los lados menores, y que en virtud de la disposicion indicada, se terminan en su parte superior por el ángulo rectilíneo que mide al diedro de la cubierta. Dichos muros se llaman *piñones;* la arista del diedro se llama *remate*, *caballete* ó *cumbrera;* y los planos inclinados se denominan *vertientes*. Tal es la superficie exterior de la cubierta, compuesta generalmente de una reunion de tablas justapuestas y enrasadas, que se llama *enlatado*, y de los materiales extendidos sobre ella para recibir y dar salida al agua.

Piñones.

L. 11, fig. 97.

Es claro que si consideramos el plano ó los planos inclinados de la cubierta como la parte superior de un suelo ó su pavimento, para sostenerlo bastará, á semejanza de lo explicado anteriormente, establecer por debajo del enlatado cierto número de piezas de madera, que se llaman *cabios*. Las extremidades de cada uno descansan sobre los dos muros longitudinales, cuando la cubierta es de un sólo plano; y cuando es de dos planos, los cabios que corresponden á cada vertiente se unen por sus cabezas en la arista superior, sirviéndose mútuamente de apoyo, y descansan por sus piés en cada muro.

Grandes aberturas. Pero la anchura del edificio puede ser tal que, aún cubriendo con dos planos, ó como se suele decir *á dos aguas*, y teniendo en cuenta la mayor ó menor inclinacion que se deba ó se pueda darles, resulte la necesidad de emplear cabios demasiado largos, expuestos á doblarse bajo el peso propio y accidental de la cubierta; es, pues, necesario procurarles apoyos en varios puntos de su longitud, para lo cual se establece cierto número de piezas horizontales, llamadas *viguetas*, que descansan en los piñones y en tantos muros de traviesa paralelos á ellos cuantos sean precisos y suficientes para evitar su flexion. Y como estos muros de traviesa romperian la continuidad de la sala ó espacio habitado, se practica, para remediar dicho inconveniente, uno ó varios arcos en ellos, ó se les sustituye por líneas de apoyos aislados. Estas fueron sin duda las primeras disposiciones del arte antiguo; y así se las vé efectivamente en algunas de las primeras basílicas cristianas; nacen directamente de la disposicion de los suelos y de los techos de azotea, como se

Muros de traviesa.

comprende haciendo la comparacion de sus diferentes partes: la cubierta es el pavimento ó el terrado; el enlatado es la capa de tablones ó entarimado; los cabios son las piezas de menor escuadría, y que tambien se llaman cabios en los suelos; las viguetas son las vigas maestras, y finalmente, son los piñones y traviesas en esta disposicion lo que los muros en la de los suelos y azoteas; así como estos recibian las vigas, aquellos reciben las viguetas. No hay, pues, más diferencia que la inclinacion. L. 11, fig. 98.

Cerchas ó cuchillos. Ya reconocieron bien los antiguos constructores en algunos casos la inconveniencia de cortar ó interrumpir la continuidad del espacio interior; y para dejar completamente libre la circulacion, sobre todo en las naves de las basílicas, aplicaron otros procedimientos mejor entendidos para hacer desaparecer la necesidad de los muros de traviesa. Consisten estos en el establecimiento de cierto número de entramados de madera suspendidos ó colgados, cuyo objeto es el de sostener sin más apoyo que el de los muros longitudinales, las viguetas, y cuya composicion vamos á describir, diciendo antes que se las dá el nombre de *cerchas*.

Debajo de las viguetas y cruzadas con ellas á ángulos rectos, dos piezas de madera inclinadas, paralelas á los cabios, y llamadas *pares*, forman los dos lados iguales de un triángulo isósceles, cuya base ó tercer lado es horizontal. El plano del triángulo es vertical; los dos pares se unen íntimamente por sus piés en los extremos de la pieza horizontal, llamada *tirante*, que descansa sobre los muros longitudinales; el vértice superior está formado por una articulacion cruzada que hace imposibe la separacion de los pares. Como

se comprende, bajo la accion del peso, trasmitido por las viguetas, las piezas inclinadas cuyas extremidades superiores ocupan una posicion invariable, deslizarian sus piés hácia afuera en el plano de la cercha, si á ello no se opusiese el tirante que los une y retiene; de modo que esta disposicion tan sencilla bastaria para considerar dominada la dificultad en aquellos casos en que, por la poca abertura ó *tiro* de la cercha, ni la flexion de los pares, ni la del tirante fuesen de temerse, ni la estabilidad de las cerchas requiriese otra garantía que la sujecion prestada por las viguetas que las enlazan; pero no bastaria en otros casos, y es preciso acudir con nuevos procedimientos á evitar aquellas flexiones y á asegurar la verticalidad, manteniendo constante la distancia de los planos de las cerchas. Aquí está encerrado todo el problema de las armaduras, que la mecánica con auxilio de los cálculos plantea y resuelve en todos los casos y circunstancias. Ajenas esas especulaciones de nuestro objeto, no entrarémos en ellas; y nos limitarémos á indicar los medios de que el arte se ha valido para ello, sin descender tampoco á detalles de carpintería, que son objeto de otra asignatura.

L. 11, fig. 99. La flexion del tirante, bajo la fuerza transversal debida á su propio peso y á las acciones que puedan provenir de otras causas, se previene en parte por la adicion de una pieza vertical, llamada *pendolon*, cuya extremidad superior recibe las de los pares, y la inferior retiene como colgado al tirante, ya por medio de espigas con pasadores, ya por medio de herrajes convenientemente dispuestos. Tambien en la parte superior del pendolon entran las extremidades de la pieza

horizontal, llamada *hilera*, que corresponde á la línea más alta ó remate de la armadura, y que contribuye, ya por sí sola, así como las viguetas, ó ya secundada por tornapuntas, aspas y hasta piezas horizontales más bajas formando un entramado vertical longitudinal, á asegurar y mantener la verticalidad de las cerchas.

La flexion de los pares se previene, tambien en parte, bien por tornapuntas que trasmitan al pendolon las acciones aplicadas en la parte que corresponde á cada vigueta, bien por piezas verticales ó inclinadas, que las lleven al tirante, ó bien por tirantes intermedios á altura de las viguetas, los cuales reciben el nombre de *puentes*.

En las antiguas armaduras se aplicaban ya todos estos procedimientos, como lo demuestran las figuras, cuya inspeccion hace comprender que en los casos de pendiente muy suave de los planos de cubierta, siendo la oblicuidad de las tornapuntas tan grande que hacia ineficaz su accion, los constructores antiguos aumentaban las escuadrías de las piezas ó las robustecian por la justaposicion de otras; multiplicaban el número de viguetas para mejor repartir la carga en la longitud de los pares; y finalmente, duplicaban las cerchas, dejando un claro ó hueco bastante para el paso del pendolon, que así quedaba comprimido entre las dos y sujeto por pasadores. Armaduras antiguas. L. 11, figuras 100 y 101.

Tales son, en principio, las disposiciones de las armaduras: susceptibles, sin duda, de modificaciones más ó ménos importantes, es siempre posible reducirlas á las primeras. Estas modificaciones proceden de una multitud de causas, relativas unas á las pendientes diversas de las cubiertas;

otras á las diferentes aberturas de los espacios que se ha de cubrir; otras á la existencia ó supresion del tirante, acaso impuesta por condiciones especiales; otras á la manera de resistir sin tirante el empuje de la armadura, ó de evitarlo por disposiciones *ad-hoc;* otras, finalmente, á la necesidad ó conveniencia de hacer habitables los desvanes.

Diversas disposiciones para aberturas muy grandes.

Los antiguos empleaban enormes piezas de madera, cuyas dimensiones les permitian establecer tirantes enterizos de bastante longitud, como se vé en las figuras citadas. Los constructores modernos, sin necesidad de recurrir al empleo de semejantes piezas, que la explotacion de los bosques ha ido haciendo cada dia más costosas y más raras, han compuesto armaduras de tiros mayores, y notables por muchos conceptos. Se puede citar entre ellas, como modelos dignos de estudio é imitacion, la de la sala de ejercicios de Moscou, las del sistema atribuido á Filiberto Delorme, las del Coronel de Ingenieros Emy y algunas otras. Descritas y explicadas con todo detalle estas ingeniosas y elegantes combinaciones en los tratados de carpintería, nos limitarémos aquí á decir que, formada la primera de piezas de madera rectas, empalmadas, adosadas, justapuestas ó articuladas, ya con el auxilio de cortes hábilmente entendidos, ya por medio de herrajes muy bien apropiados, constituida la segunda por cerchas curvas de dos espesores de tablas puestas de canto, y cortadas por juntas normales cruzadas á modo de dovelas de un arco, con pasadores ó clavijas, que las ligan íntimamente, y la tercera, en fin, tambien de cerchas curvas, compuesta de tablas sobrepuestas de plano y encorvadas sólo por virtud de su natural flexibilidad, todas se fundan en principios, sin duda conocidos, aunque no aplicados en general por los maestros del arte antiguo, quienes al adoptar el empleo de esas grandes, y al parecer excesivamente robustas piezas, ménos tenian en cuenta el mayor cubo de material invertido, que la garantía de una larga duracion.

Seguramente ninguna de las vigas compuestas de varias piezas pequeñas y herrajes de refuerzo, construidas y calculadas á la moderna, es decir, con las dimensiones *precisas* y *bastantes*, se conservaria á través de cerca de diez siglos como los robustísimos pares y tirantes enterizos de la basílica antigua de San Pedro, cuyo estado era tan bueno despues de tanto tiempo, que pudieron ser dichas maderas empleadas en los techos del palacio Farnesio. Y debemos aquí recordar lo que desde las primeras lecciones hemos dicho sobre las obras monumentales en nuestra época, para que se comprenda cuán distantes estamos de elogiar en absoluto los procedimientos antiguos y censurar los modernos; pero lo que nos parece razonable es que, dando á cada época lo suyo, sea menor la presuncion y vanidad pueril con que hoy se atribuye á ignorancia de aquellos grandes artistas lo que sin duda era el resultado de una apreciacion muy justa y muy bien entendida, tan natural y tan discreta entonces, como violenta y torpe fuera tal vez aplicada en nuestros dias.

Faldones.

Como punto de partida para las aplicaciones de carácter general, que aquí cabe hacer, hemos considerado la composicion de una armadura sencilla, cubriendo edificios de planta rectangular, terminados por piñones. Pero cuando el edificio es aislado, conviene á veces terminar los muros de

los lados menores del rectángulo, ó *testeros*, á la misma altura que los longitudinales, y correr así horizontalmente la cornisa por todo el contorno. En este caso, los triángulos de los piñones desaparecen, y en su lugar se crean dos nuevas vertientes ó planos inclinados, cuyas intersecciones con las vertientes principales son cuatro aristas salientes, llamadas *limas*, que concurren evidentemente á dos puntos de la cumbrera, vértices de los dos triedros, que así forman los cuatro planos. La forma de la cubierta se ha cambiado; de prismática triangular recta, que antes era, pasa á ser prismática triangular truncada; y los triángulos inclinados, que constituyen las nuevas vertientes comprendidas entre las limas y las cornisas de los testeros, se llaman *faldones*.

Armaduras de pabellon. La planta del edificio puede no ser simplemente rectangular; y cuando es un polígono regular, la superficie de su cubierta es un ángulo poliedro, que, limitado por el plano horizontal de las crestas de los muros, forma una pirámide recta: es un caso particular de esta disposicion el de una planta cuadrada. Estas últimas clases de cubiertas se llaman de *pabellon*.

Cónicas y cilíndricas. Si la planta es circular, la superficie de la cubierta es cónica, cuya forma puede ser aplicada á las poligonales de muchos lados. Finalmente, sobre las mismas plantas rectangulares, poligonales, circulares, se puede dar á las superficies de cubierta formas cilíndricas de seccion semicircular, apuntada, de inflexion, ó formas mixtas de partes planas y partes curvas. Las disposiciones de armaduras correspondientes á todas las formas de cubierta indicadas, vienen, en la esencia, á ser aplicaciones, más ó ménos alteradas en los detalles, de los principios generales expuestos.

Encuentros de techos. Cuando dos cuerpos de edificio se encuentran, en ángulo recto ú oblícuo, puede suceder que se terminen los dos en su encuentro, ó que uno de ellos solamente se termine allí, y el otro continúe más allá del ángulo, ó que ninguno de los dos cuerpos se termine en dicho encuentro, prolongándose ambos á uno y otro lado de la interseccion. Puede tambien suceder que las cubiertas de los dos cuerpos de edificio considerados tengan sus cumbreras á la misma altura ó á distinto nivel. Las líneas de interseccion de las superficies de vertiente en cada una de esas combinaciones son las siguientes: en la primera, ó sea la cubierta de planta en martillo, la interseccion de las vertientes exteriores será una arista ó lomo *(limatesa)*, y la de las interiores una gotera ó canal *(limahoya)*. En la segunda, ó cubierta de planta en doble martillo ó T, las intersecciones de las dos vertientes de un cuerpo con una de las del otro serán dos líneas entrantes, ó *limahoyas*, que concurren á la interseccion de las cumbreras, en el caso de estar estas á la misma altura, y cuando no, á la interseccion de las tres vertientes, que es precisamente un punto. En la tercera, que es la cubierta de planta en cruz, son cuatro las intersecciones en limahoya, y concurrentes todas al punto en que se cortan las cumbreras, si estas están á nivel, y si no, cada dos, como en el caso anterior. El enlace de las piezas de madera en las armaduras, para mejor recibir y sostener las cubiertas en los encuentros ó penetraciones que acabamos de describir, es uno de los objetos más interesantes del estudio de la carpintería, en donde los aparejos destinados á ese fin constituyen los *nudos*, en el caso de igual altura de cumbreras, y los *nudillos* en el contrario.

(Marginal notes: Martillos. — Cruzados. Nudos. Nudillos.)

Aleros ó cejas.

Cualquiera que sea la disposicion que en cada caso convenga adoptar, debe siempre ser tal, que la cubierta sobresalga de los paramentos exteriores de los muros lo necesario para alejar las aguas de ellos, y evitar las degradaciones, á que, sin esa precaucion, estarian expuestos. Esa parte volada de la cubierta, que se llama *alero*, unas veces está sostenida por los mismos cabios prolongados, y otras por cornisas salientes de los paramentos de los muros.

Vanos para dar luz á los desvanes.

En las armaduras, ó mejor dicho, en las cubiertas, lo mismo que en los muros, es preciso casi siempre practicar aberturas y hacer ventanas para dar luz y ventilacion á los desvanes, algunas veces, como ya hemos dicho, dispuestos para ser habitables. Para que sólo sirvan á dar luz no se necesita más que disponer en el mismo plano inclinado de la vertiente un marco fuerte cuadrado, ó rectangular, análogo á los que se establecen en los suelos, cerrado todo por fuertes y dobles cristales, á veces revestidos de tela ó urdimbre metálica; pero cuando han de servir además para ventilar, se las dispone de modo que semejan pequeños cuerpos cubiertos á dos aguas, y cuyas uniones con la armadura del cuerpo principal forman pequeños nudillos de fácil composicion; en este caso, la ventana propiamente dicha, cierra verticalmente el testero de cada pequeño cuerpo, que tambien puede ser apiñonado ó de faldon.

Hierro. L. 11, figuras 102, 103, 104, y L. 12, figs. 105, 106 y 107.

Ya hemos dicho que todos los elementos de la arquitectura se prestan al casi siempre ventajoso empleo del hierro. Comprendemos que, respecto de algunos, aún haya ingenieros y arquitectos distinguidos que duden ó vacilen ante las dificultades que su aplicacion presenta en países como

el nuestro, en que la industria apenas existe; pero en las armaduras es preciso convenir que sólo una oposicion sistemática y temeraria es capaz de poner hoy siquiera en tela de juicio sus inmensas y universales ventajas..... Por muchos años fueron empleadas las armaduras de madera con considerable número de piezas auxiliares de hierro en las uniones de los pares entre sí y con los tirantes, en la del pendolon á los tirantes y pares, en las de los puentes, tornapuntas, péndolas, etc., etc.; despues desapareció el tirante de madera, pieza de difícil y costosa, cuando no imposible, adquisicion; desapareció tambien el pendolon de madera; y pendolon y tirante fueron hechos de barras de hierro; más adelante quedaron sólo los pares de madera reforzados por especies de pendolones de hierro, perpendiculares á ellos, asegurados en sus puntos medios á modo de manguetas, cuyas extremidades inferiores se unian con las de los pares por medio de barras de hierro, y entre sí por un pequeño tirante del mismo metal; últimamente, los pares son ya vigas de hierro de secciones diferentes, lo mismo que las viguetas, y parece que hasta hoy sólo los cabios siguen siendo de madera, en general, con el enlatado de tablas sobre el cual se extiende el tejado; no obstante, muchas son las especies de cubierta modernas que, no requiriendo enlatado, permiten la sustitucion de cabios y viguetas por un sólo sistema de piezas horizontales ó cintas de hierro aseguradas sobre los pares, con los cuales forman una especie de suelo de hierro como los ya descritos.

Además de la incombustibilidad, que es ventaja comun á todas las construcciones de hierro, ocurre desde luego que,

con su aplicacion á las armaduras, se puede salvar sin dificultad las mayores aberturas; que la hilera y las viguetas de hierro son suficientes para mantener la verticalidad de cada cercha, sin recurrir á tornapuntas longitudinales ni á sub-hileras; que las formas curvas son aquí casi tan sencillas como las rectas, de lo cual se deriva una facilidad grande para hacer pisos en los desvanes; que las relaciones de resistencia, peso y volúmen determinan una evidente superioridad de estas armaduras sobre las de madera; y finalmente, que la duracion de estas obras, en donde el metal está siempre á la vista, casi puede ser indefinida; mientras que en ellas precisamente es en donde la madera parece tener una vida más corta.

Todos los tratados de mecánica aplicada á las construcciones enseñan á determinar las dimensiones de las diferentes piezas que entran á componer las armaduras. El problema no siempre es sencillo; á veces se complica con sérias dificultades de análisis, cuando se quiere proceder con ese rigor científico que no admite ni una línea ménos de lo necesario, ni una más de lo suficiente; mas en la práctica, basta la aplicacion de fórmulas aproximadas, que tambien dan á conocer los autores. Este no es el lugar de semejantes investigaciones, y nos limitamos á dar el cuadro que figura al fin de esta leccion.

Decoracion. Las armaduras quedaban entre los Griegos y Romanos casi siempre aparentes al interior, y entonces su decoracion consistia en los cortes y molduras de las piezas de madera, en la disposicion de cuadros como casetones; y hay quien cree que en Grecia eran revestidas de bronce, y adornadas

con figuras y objetos de barro cocido. Posteriormente, en las primeras basílicas cristianas, cuando no quedaban ocultas las armaduras por un techo horizontal á altura de los tirantes, se continuó el mismo sistema de decoracion, si bien se desplegó el mayor lujo y magnificencia en pinturas y esculturas.

La Edad Media siguió los mismos procedimientos, y áun en épocas ménos distantes de la nuestra se han dejado tambien aparentes las armaduras en las iglesias, no tanto como un medio de decorar, cuanto como la expresion de formas consagradas por los primeros monumentos cristianos.

En los edificios modernos, cualquiera que sea su carácter, casi nunca quedan á descubierto ni son decoradas las armaduras, porque áun en el caso de ser habitables los desvanes, la humildad de esta vivienda aleja toda idea de exornacion. En cuanto á decoracion de armaduras de hierro, dirémos que no la necesitan, que la tienen en su propia disposicion. Ligeras, aéreas, abiertas, despejadas, en cierto modo diáfanas, son en verdad de un aspecto atrevido y elegante en medio de su sencillez. No participamos de la opinion de algunos que, dando importancia á la aparente ligereza del sistema, quieren ver en ella un defecto artístico, y desearian más magnitud, mayores espesores; esto, á nuestro juicio, léjos de ser un defecto, es la expresion verdadera de una de las cualidades del material, y por tanto es su más bello ornamento á los ojos de la razon.

III.

TEJADOS (1).

Origen. Los tejados, es decir, la parte de las cubiertas cuyo objeto es recibir directamente y dar salida al agua, se componen de materiales de muy diversas clases, combinados por procedimientos tambien muy diferentes. Sin detenernos en detalles que tienen su lugar señalado en otras asignaturas, es, sin embargo, necesario hacer una descripcion razonada de dichos sistemas, comenzando por los empleados en los tiempos más antiguos. No hablarémos de esas cubiertas de paja y tierra, de cañas, y de otros productos vegetales, que debieron ser sin duda los medios empleados por el hombre para resguardar las primeras viviendas, y que áun hoy son los usados para cubrir chozas, barracas ó pequeñas construcciones de un carácter humilde ó provisional.

En los monumentos del antiguo Oriente parece que el lujo desplegado en las cubiertas era superior á todo encarecimiento; se cuenta que habia tejados todos de plata y hasta se habla de ladrillos y tejas de oro de un valor asombroso; no queremos inducir á nadie á que lo crea, como tampoco

(1) Las definiciones dadas al principio de esta leccion justifican el uso que aquí hacemos de esta voz. Consideramos que el *tejado* es la *parte* superior y exterior de la *cubierta*; y ya se verá que, consecuentes con esta idea, dirémos algunas veces *cubiertas de tejado*, por ejemplo, para simplificar *cubiertas* cuya *parte* superior ó exterior es un *tejado*.

nos atrevemos á decir si lo creemos ó no en absoluto; pero lo que sí se puede afirmar es que los tejados eran, como todas las demás partes de las obras de esos pueblos, objeto de ese lujo que llamamos todavía generalmente *asiático*.

Tejados de barro cocido, mármol y bronce en Grecia y Roma. Los Griegos y los Romanos cubrian generalmente con tejas de barro cocido; y en los monumentos de importancia emplearon las de mármol y á veces de bronce. La disposicion de los tejados de las dos primeras clases estaba reducida á la formacion de dos capas, una de ladrillos apoyados por sus extremos en los cabios de la armadura, y unidos entre sí por mortero, y la otra de tejas arregladas como representa la figura, en que se vé claro que las habia de dos clases: las planas *a* y las lomudas curvas *b*; unas y otras se solapaban en direccion de las líneas de máxima pendiente lo bastante para evitar toda entrada de agua á través del tejado. Las hileras de tejas curvas, es decir, las partes convexas del tejado, cuyos ejes se correspondian verticalmente con las líneas medias de cada triglifo del entablamento, se terminaban en el alero, sobre la cornisa, por un ornamento especial llamado por los Romanos *antefixæ* (boquilla), que algunas veces figuraba tambien en la cumbrera. En las cubiertas de pabellon y cónicas solia coronar el remate ó cúspide un floron. Igual en todo la disposicion de los tejados de barro y de mármol, sólo se advertia alguna diferencia en la decoracion, generalmente más espléndida en los segundos; los terminaba á veces una canal corrida de piedra, con cabezas de leon, mascarones ú otras figuras esculpidas, y enfrente de las hileras de tejas lomudas se veian en los adornos de boquillas hojas de palma, jarrones, águilas y hasta cuerpos

L. 12, fig. 108
L. 12, fig. 109

enteros. Pero los más ricos y de más grandioso aspecto eran sin duda los de bronce, como lo atestiguan, en los restos de cubierta del panteon de Agrippa, algunas planchas de más de un centímetro de espesor, y de dos metros de anchura, único vestigio que dejáran de esos soberbios tejados, no tanto los destrozos causados por incendios y bárbaras devastaciones, cuanto el despojo autorizado para exornar otras obras. Las disposiciones de los tejados en aquella época eran bien entendidas, y su decoracion no podia ser más elegante ni más apropiada.

Alteraciones de los antiguos procedimientos. En las épocas posteriores hasta hoy, han sido más ó ménos profundamente modificadas las antiguas disposiciones, segun los países, y segun las diversas clases de material empleado para los tejados. En los de tejas de barro, primero se suprimió la lomuda y se compusieron sólo de las otras L. 12, fig. 110 planas, modificando su colocacion para que alternativamente presentasen al exterior las hileras su concavidad y su convexidad; despues fueron suprimidas las planas, y se compusieron los tejados solamente de las lomudas, tambien alternando su modo de colocacion, y calzando, para afirmar, las que volvian hácia arriba su concavidad; más adelante fueron adoptadas nuevas formas; ya las tejas de inflexion, L. 12, fig. 111 ó en forma de S (figura 111); ya las planas enteramente L. 12, fig. 112 lisas (figura 112); ya las de ángulos redondeados (figura L. 12, fig. 113 113); ya las cuadradas con realces en sentido de cada dos lados contiguos, y de tal modo dispuestas que la diagonal del cuadrado se halla en direccion de las líneas de máxima L. 12, fig. 114 pendiente del tejado (figura 114); ya, en fin, las llamadas hoy generalmente planas y que son, en nuestro concepto,

las que reunen ventajas mayores, las llamadas á sustituir tal vez por completo á todas las demás: está representada esta disposicion en la figura 115. Cuando estas últimas tejas L. 12, fig. 115 son barnizadas, los tejados que con ellas se hacen son inmejorables.

Pizarra. Entre las tejas de piedra, que hoy se usan, figuran las de pizarra, con que se forman elegantes tejados de los edifi- L. 12, fig. 116 cios de lujo. Su aspecto, su igualdad, su poco peso, su brillo y su color uniforme constituyen sus principales ventajas. Las hay de tipos diversos, segun la calidad de la piedra, y las dimensiones y áun las formas de las tejas. La disposicion de la cubierta es muy análoga á la de las planas lisas de barro; y si son tejas de grandes dimensiones, el enlatado, en vez de ser contínuo, puede ser compuesto de listones horizontales separados entre sí, á semejanza de lo que se hace en algunos de los tejados de barro antes descritos. Las pizarras están sujetas al enlatado ó á los listones por clavos galvanizados que las atraviesan pasando por taladros pré- L. 12, fig. 117 viamente abiertos, ó lo que es mejor aún, por medio de unos corchetes de alambre galvanizado, fijos en los listones, y en cuyas vueltas queda contenida por su extremidad inferior la hoja de cada teja.

Tejados metálicos. Para concluir, dirémos algo sobre los tejados metálicos. Despues de los antiguos de bronce, de que ya hemos hablado, y que se cita como un objeto de curiosidad histórica, no se ha empleado el metal con alguna generalidad en las cubiertas hasta nuestra época, en que ha vuelto á aparecer, pero bajo formas y disposiciones enteramente distintas, pues en vez de aquellas gruesas planchas de bronce del panteon

de Agrippa ó del templo de Rómulo, son ahora delgadas hojas de metal laminado las que revisten las cubiertas modernas.

Plomo. El plomo, cuya gran ductilidad parece constituir una ventaja positiva de su empleo, no puede ser delgado sin estar expuesto á una rápida degradacion, que sólo es posible prevenir con espesores fuertes, y esto aumenta considerablemente el costo y el peso del tejado; por esa razon su uso se limita á revestir las cúpulas ó aquellas partes de las cubiertas que, por sus formas accidentadas, reclaman un material que fácilmente se amolde á ellas, como son los aristones, caballetes, canales maestras, etc., etc.

Cobre. El cobre, que sin duda seria excelente, es metal de mucho valor, y este es su principal inconveniente, no sólo por el crecido gasto que supone, sino porque excita el apetito, y está expuesto á desaparecer; y si las hojas de cobre son muy delgadas, se abren y resquebrajan por efecto de las contracciones y dilataciones debidas á los cambios de temperatura. Se puede cubrir las láminas de cobre con capas de estaño; pero si se adopta un espesor regular, tal precaucion seria innecesaria, porque su oxidacion dá orígen á una capa que es en general bastante para preservar el cobre.

Zinc. El zinc, que á esta última propiedad une la de la economía, era, hasta hace poco, el metal preferido, y aún hoy se usa con bastante frecuencia. Son varias las disposiciones de esta clase de tejados; en todas se procura dejar más libertad á este metal para las dilataciones, que en él son más pronunciadas que en el cobre y plomo; y tambien se atiende con el mayor cuidado á evitar que la clavazon de hierro, por su

contacto, en un medio húmedo, con el zinc, determine acciones galvánicas que lo destruyen en poco tiempo. Bueno es advertir que esto último no es fácil de evitarse siempre. Entre esos procedimientos los más usados son los siguientes, que explicados con todo detalle en las *Lecciones de Carpintería,* no harémos más que indicar aquí brevemente.

Sobre el enlatado se tienden las grandes hojas metálicas lisas, de modo que la extremidad superior de cada una se fija por clavos, y la inferior solapa una parte de la que le sigue; para evitar que el viento las levante, se las sujeta por medio de unos apéndices metálicos que, soldados á la superficie interior de cada una y prolongados, se alojan por debajo de la siguiente, pasando por entre los clavos que fijan ésta al enlatado. Las extremidades laterales, que forman las juntas en sentido de las líneas de máxima pendiente, se levantan encorvándose ligeramente, de modo que estén en contacto con las contiguas, y sujetos estos rizos al enlatado por apéndices, quedan en toda su longitud cubiertos por una cinta encorvada ó acanalada del mismo metal, cuya convexidad se vuelve hácia arriba. L. 12, figuras 118 y 119.

Las imperfecciones de este sistema han hecho que se le modifique, sustituyendo á las juntas en pendiente, que acabamos de explicar, otros medios que, afirmando más las hojas, las dejan un juego más expedito al dilatarse, y á las juntas horizontales, que casi quedan libres en el anterior y expuestas á ser levantadas, otro modo de union mejor entendido. Tambien se suele emplear, con objeto de dar fácil salida al agua, láminas de zinc onduladas, cuyas estrías quedan dirigidas en sentido de la línea de máxima pendiente,

lo cual parece ventajoso, porque dejando espacios huecos entre las tejas y el enlatado, permite la circulacion del aire y contribuye á la mayor duracion de la madera; tiene, sin embargo, el inconveniente de ser más caro.

Hierro. L. 13, figuras 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126 y 127.

Un gran inconveniente que presentaba la aplicacion del hierro á los tejados, y que, en medio del conocimiento de las ventajas que le dan sobre el zinc su mayor solidez, menor dilatacion y más eficaz resistencia al fuego en los incendios, habia limitado sus aplicaciones á ciertas localidades, es su rápida oxidacion, imperfectamente prevenida por la pintura. Pero las planchas de palastro planas ú onduladas, ó afectando otras formas, cubiertas de un baño de zinc, ó, como se dice generalmente, galvanizadas, han venido á hacer desaparecer aquel inconveniente casi por completo. Así, su sustitucion al zinc se ha generalizado mucho, y es presumible que cuando se hayan borrado ciertas preocupaciones, más hijas del hábito que de la razon, su uso se extienda en muchos países. Las disposiciones de estos tejados son muy semejantes á las de los anteriores (1).

Canales y tubos de bajada de aguas.

Las aguas que los tejados conducen hasta los aleros caen en una canal corrida, que se desagua por medio de tubos de bajada, ó bocas horizontales; estas arrojan el agua á distancia del pié de la fachada; aquellos son aparentes y adosados ó embutidos y ocultos en las mamposterías de las fachadas. Es difícil encontrar una disposicion que satisfaga todas las condiciones que exigen, por una parte la conservacion de

(1) Para conocer con detalle estas disposiciones, se puede consultar el *Propagateur des travaux en fer* (Oppermann), de donde han sido tomadas las figuras de nuestra lámina.

los muros expuestos á filtraciones, si las bajadas de aguas quedan ocultas dentro de su espesor, y por otra, la decoracion y aspecto de las fachadas, cuyo buen efecto descompone la apariencia, sin duda fea, de esos conductos, cuando quedan aparentes. El sistema de construccion, en cada caso, indica los medios de que puede valerse el arquitecto para eludir estas dificultades, que sólo dejan de presentarse cuando dicho sistema es el de columnas huecas de hierro, que, al mismo tiempo que apoyos, sirven y se emplean como conductos.

LECCION VII.

BÓVEDAS.

Al tratar de las disposiciones de arcadas y de sus formas, hemos hecho algunas indicaciones sobre el orígen de la bóveda; y aquí debemos repetir que no son, ni deben ser, consideradas como tales, las excavaciones de forma elipsoidal de los Medos, ni los cortes curvos practicados en muros de hiladas horizontales, ni las dos piedras inclinadas que se apoyan por sus extremos superiores, ni la cavidad parabólica del tesoro de Astrea, ni las llamadas ojivas del antiguo Egipto. Serán todas estas y otras muchas disposiciones, encontradas en los restos de monumentos de los más antiguos pueblos del Oriente, de Egipto y de Grecia, formas más ó

ménos parecidas á las de la bóveda; pero en realidad no son otra cosa que aberturas practicadas en macizos construidos y aparejados como muros, y cuyas hiladas se interrumpen, quedando como escalonadas unas sobre otras.

Verdadero carácter de la bóveda.

La idea esencial y el verdadero carácter distintivo de la bóveda no están en su forma, están en su estructura, en su aparejo, en esa composicion de cuñas (dovelas), que se sostienen unas á otras por su propio enlace; y bajo este concepto, unos suponen que la invencion fué de los Etruscos, otros la atribuyen á los Griegos, y muchos creen que su antigüedad es aún más remota.

Roma.

La verdad es que la bóveda aparece por primera vez, como elemento principal y dominante en las construcciones, entre los Romanos, á quienes los Etruscos las transmitieron; ellos mejoran los procedimientos de ejecucion; emplean materiales ligeros, y los ligan con cementos magníficos; con el arco y la bóveda simplifican las disposiciones arquitectónicas; á los largos y pesados arquitrabes, y á los extensos techos y cielos de difícil construccion, sustituyen el nuevo elemento formado de pequeñas piedras (dovelas); ellos levantan cúpulas sobre rotondas y sobre plantas poligonales; y finalmente, de tal manera extienden sus aplicaciones, que la nueva forma, mejor dicho, la nueva composicion se imprime por todas partes en la arquitectura civil, y á pesar de seguir en los monumentos religiosos las huellas del arte griego, se presenta á la religion cristiana triunfante como la base del nuevo arte latino, cuyo carácter distintivo es constituido por el arco y la bóveda.

Arquitectura latina.

Los cristianos, cubriendo con bóvedas cilíndricas sus basílicas, parece como que querian apartar el culto nuevo hasta de las formas del arte entre los gentiles; pero, pobres en Roma durante los primeros siglos, no pudieron dejar de aceptar otros elementos para cubrir, como fueron las armaduras de madera y los techos planos artesonados.

Arquitectura bizantina.

En Bizancio es en donde verdaderamente el arte se desarrolla, alterando profundamente las antiguas formas, y dando nacimiento á una escuela nueva que, bajo el nombre de Arquitectura bizantina, lleva el sello principal de su originalidad, no en los capiteles cúbicos y piramidales, ni en los ornamentos nuevos, ni en el empleo de materiales de distintos colores, ni en otras variaciones de detalle, nó: su originalidad, y por tanto, su grande importancia, estriban en el empleo exclusivo de la bóveda, que todo lo domina, que en todos los monumentos se ostenta, y que cambia y transforma por completo los lineamientos capitales de la edificacion.

La forma dominante en las bóvedas de la arquitectura bizantina, es la esférica, á semejanza de la que los Romanos levantaron en el panteon de Agrippa; pero, en vez de cubrir rotondas, las cúpulas neo-griegas se elevan sobre plantas distintas, se combinan con grandes arcos que las sustentan, se adhieren lateralmente á medias cúpulas, ó se sobreponen formando inmensas pirámides de bóvedas sobre bóvedas. Se multiplica despues su número, se alivia el peso de su construccion por medio del empleo de materiales de suma porosidad y ligereza; los pórticos algunas veces están cubiertos por intersecciones de bóvedas cilíndricas, y en las mismas cúpulas aparecen penetraciones cilíndricas (lunetos) para formar ventanas. Así, se vé que va poco á poco la forma es-

férica perdiendo su carácter exclusivo, y como que se latiniza algo el estilo oriental, hasta que en su último período entra ya la bóveda cilíndrica, la romana, la de las primeras basílicas cristianas, á cubrir las naves de los templos, y la cúpula se reduce á la posicion central, como volviendo á su primitiva significacion: la bóveda celeste, en cuya cúspide está el trono del Señor.

Arquitectura romano-bizantina.

Mientras en Oriente las formas de las bóvedas pasaban por los diferentes tipos que acabamos de bosquejar, y miéntras la mayor parte de la Italia parecia conservar con respeto las formas adoptadas por el arte romano, las restantes naciones de Occidente, cuya arquitectura desde el siglo IV hasta el X parece sepultada en las sombras de la ignorancia y del terror, comienzan en el XI á levantar monumentos religiosos que, híbridos al principio, con cúpulas bizantinas, y bóvedas cilíndricas romanas, ó intersecciones y penetraciones de ambos estilos, y á veces hasta formas mutiladas, como las medias bóvedas cilíndricas, van en el siglo XII emancipándose de los modelos, y presentando alguna novedad en los tipos.

Arquitectura ojival.

Se conservan aún las cúpulas, y tambien las formas cilíndricas de directrices semicirculares, como en el anterior; mas ya se muestra la forma ojival en las cilíndricas, y las intersecciones se disponen y aparejan de otra manera; porque no son siempre en esta época sus superficies el resultado de la penetracion de los cilindros, sino el cruzamiento de dos grandes arcos de piedra, y sobre estos, cual si fueran vigas arqueadas, carga el peso del macizo que llena y cubre los espacios triangulares. Ya en el siglo XIII la independencia del arte es completa, y la bóveda, dejando al fin resueltamente la línea semicircular, se ostenta arrogante, esbelta y atrevida en todos los monumentos, constituyendo el alma de la arquitectura ojival.

No son ya las bóvedas unos macizos de superficies contínuas; son un sistema más ó ménos complicado de arcos ojivos en direcciones paralelas, perpendiculares y diagonales (cruzadas) ú oblícuas al eje de la nave, que constituyen el esqueleto de la construccion, ó, para repetir la comparacion que antes hemos hecho, grandes vigas arqueadas de piedra, destinadas á sostener la mampostería de relleno que cubre las porciones huecas que dejan aquellas entre sí. Bajo este tipo original, y verdaderamente admirable por su osadía, están construidas todas las magníficas catedrales de la Edad Media. Todo en ellas se distingue por su grande elevacion: los arcos, las bóvedas, los contrafuertes, los pináculos, todo sube, todo se eleva, y de tal modo dominan las líneas verticales, que parece efectivamente la catedral gótica como con razon se ha dicho, la aspiracion del alma, que quiere desprenderse de la tierra y exaltarse al cielo.

Renacimiento y arquitectura moderna.

La arquitectura del Renacimiento, al volver á las bóvedas de directrices semicirculares, y á sus diversas combinaciones, no se desprendió enteramente de todas las ideas de la Edad Media. Así, la construccion moderna, que en muchas cosas ha querido ser exageradamente clásica, ha procedido con tino en la adopcion de todos los tipos de bóvedas y su aplicacion, segun los casos, sin apegarse á esta ni á la otra escuela, á este ó al otro modelo.

Hemos creido conveniente hacer preceder el estudio de

las bóvedas de la anterior reseña histórica, en la que de intento no hemos descendido á detalles de disposicion. Pasemos ahora á hacer dicho estudio con toda la extension que su importancia requiere; mas no sin recordar antes que, no siendo este un tratado de corte de piedras, sólo hemos de ocuparnos aquí de la disposicion arquitectónica y no de los procedimientos especiales que en dichos tratados se explica y enseña. Tampoco, por una razon análoga, comprende este estudio los medios de ejecucion de las bóvedas de pequeños materiales.

Objeto. Intradós. Trasdós.

Destinadas las bóvedas á cubrir espacios habitados, son naturalmente susceptibles de muy diversas formas, segun las plantas que cubren, segun el objeto especial de su construccion, y segun la clase de materiales que las constituyen. Puede ser su objeto exclusivo el cubrir un edificio, ó sostener la carga de una construccion superior; en ambos casos, es un macizo que se termina inferiormente por una superficie, que se llama *intradós,* y exteriormente por otra denominada *trasdós*. Considerarémos primeramente sus formas con relacion sólo al intradós, pues más adelante hemos de ver que diferentes formas de trasdós caben en una misma especie de bóvedas, á las que siempre caracteriza y dá nombre su intradós.

Toda superficie es engendrada por el movimiento de una línea que se llama *generatriz*, segun una ley que casi siempre se expresa gráficamente por otras líneas llamadas *directrices*. Así, los intradoses pueden ser superficies de generatrices rectilíneas y de generatrices curvilíneas; y esta diferencia es, en nuestro concepto, la primera y más general

de las clasificaciones. Son *géneros* distintos de la primera clase, es decir, de las de generatrices rectilíneas, las *cilíndricas*, las *cónicas*, las *alabeadas*. Y corresponden á la segunda clase las *anulares*, las *esféricas*, las *elípticas* y las de *revolucion*. Tales son las formas simples, dentro de cada una de las cuales es preciso distinguir varias *especies*, ya por la variedad de las líneas de generacion, ya por componerse de la reunion, encuentro ó penetracion de dos ó más de las primeras.

BÓVEDAS DE GENERATRICES RECTILÍNEAS.

1.ª—*Cilíndricas*. Superficie engendrada por una línea recta que, permaneciendo siempre horizontal, se apoya sucesivamente sobre todos los puntos de una curva plana vertical (1), que es la *directriz*. Cuando esta es una semicircunferencia ó medio punto, la bóveda se llama *de cañon seguido*, la más usada en arquitectura antigua y moderna, la más sencilla, la más elemental: se emplea para cubrir salones, galerías, naves, subterráneos, etc. Si la directriz es un arco circular menor que la semicircunferencia, la bóveda se lla-

Cañon seguido.

L. 14, fig. 128

Varias formas de directriz.

(1) Para la generacion de la superficie cilíndrica, en general, la curva directriz puede ser cualquiera, plana ó de doble curvatura. Pero como aquí no definimos la superficie en su más lata acepcion geométrica, sino en su aplicacion al intradós de una bóveda, hemos creido conveniente elegir para dicha generacion una curva cuyo plano, siendo perpendicular á la direccion de las generatrices, sea el que determine la seccion recta del cilindro. Se comprende, desde luego, que, entre las directrices infinitas que se podria escoger, prefiera la arquitectura aquella que sea más sencilla, que es la seccion, casi siempre plana y vertical, de la bóveda por los paramentos que la limitan en sus cabezas.

L. 14, fig. 129 ma como la curva misma, *escarzana*, y en general, las for-
L. 14, figuras 130 y 131. mas de la directriz, que pueden ser elípticas, parabólicas, ojivales y compuestas de varios arcos de círculo tangentes entre sí (carpaneles), determinan otras tantas variedades de las bóvedas cilíndricas.

La construccion se compone de hiladas de piedra en sentido de las generatrices, y las superficies de contacto entre unas y otras hiladas, que se llaman *juntas*, son planos normales al intradós; las dos hiladas que descansan sobre los muros que sustentan la bóveda se llaman de *arranque* ó *nacimiento;* y la hilada más alta, la que cierra la bóveda, es la de *clave;* el número de hiladas debe ser siempre impar.

Si se supone una bóveda de cañon seguido cortada por un plano vertical que contenga la generatriz de *clave*, y que este plano vertical sea el paramento de un muro, quedará reducida á la mitad; este es el *medio cañon*, orígen de los *botareles* de la Edad Media, de que más adelante hablarémos.

L. 14, fig. 132 Si la directriz, en vez de ser un arco de círculo de radio finito, es de radio infinito, en cuyo caso se convierte en línea recta, el intradós será plano y la bóveda se llama entonces *adintelada;* pero se comprende que sus juntas no pueden ser normales al intradós, porque así serian verticales, y las piedras ó *dovelas* no se sostendrian; se las hace concurrir, pues, al interior de la bóveda.

L. 14, fig. 133 La directriz puede ser tambien una línea compuesta de dos cuadrantes unidos por una recta horizontal tangente; en este caso, la bóveda se compone de dos medios cañones y una adintelada; las juntas de los primeros concurren á los ejes respectivos, y las del segundo á la arista de un prisma

triangular equiángulo, construido con el plano de intradós por base.

La seccion parabólica jamás se usa; la hemos citado porque esa forma tuvieron algunas de las *pretendidas* (1) bóvedas de la antigüedad. Entre todas las variedades de las bóvedas cilíndricas, se dá el nombre de *rebajadas* á aquellas cuya directriz tiene mayor abertura ó *luz* que el doble de su altura ó *montea;* y *peraltadas*, aquellas que presentan una diferencia en sentido inverso.

Cuando las generatrices del cilindro, en vez de horizontales, son inclinadas, las bóvedras cilíndricas toman el nombre de *bajadas*. Se las emplea generalmente para cubrir rampas y escaleras. Las bajadas, para no fatigar demasiado los muros ó construcciones que las reciben inferiormente, deben estar dispuestas de un modo especial, que en *Corte de piedras* se enseña, y que distingue esencialmente su aparejo del de las bóvedas cilíndricas ordinarias. Bajadas. L. 14, fig. 134

2.ª—*Cónicas*. Sobre una planta circular se alza un muro cilíndrico que la limita en todo su contorno; la cresta de este muro es una corona comprendida enre dos circunferencias concéntricas; y si sobre la interior se apoya un punto de una recta que corte á la vertical levantada en su centro, y se la hace mover de modo que el punto de interseccion permanezca fijo, y el otro recorra la circunferencia, dicha recta (generatriz) engendrará el intradós de una bóveda *cónica*, que será peraltada ó rebajada, según sea la distancia del Cónicas de eje vertical.

---

(1) Se recordará que hemos dicho antes que estas construcciones no estaban dispuestas como verdaderas bóvedas.

vértice al plano de la circunferencia mayor ó menor que el radio de esta.

Las hiladas son circulares; las superficies de junta son cónicas, y su concavidad se vuelve hácia el vértice del intradós, que corresponde á la *clave* de la bóveda. Con las definiciones dadas al describir las cilíndricas se comprende fácilmente lo demás de la disposicion, de cuyos detalles prescindimos aquí. Añadirémos sólo que si la directriz, en vez de ser una circunferencia fuese una elipse ú otra curva cerrada, la bóveda cónica seria dispuesta de una manera análoga; pero son muy poco ó nada usadas estas combinaciones en arquitectura.

Cónicas de eje horizontal. L. 14, fig. 135

Si se prolongan las crestas de los paramentos interiores de dos muros convergentes, y se considera como eje la bisectriz del ángulo que forman, como vértice su punto de interseccion, como directriz una circunferencia de círculo perpendicular al eje, cuyo centro esté en la bisectriz, y cuyo diámetro sea la parte de la perpendicular al eje comprendida entre las crestas, se tendrá una variedad de bóveda cónica, que aunque casi nunca empleada así como bóveda, sirve de punto de partida para algunas combinaciones muy usuales. La llamarémos bóveda cónica de eje horizontal. Y cuando la directriz no es una circunferencia, sino un arco escarzano, por ejemplo, dirémos que es la bóveda cónica escarzana.

Arcos, puertas, dinteles. Capialzados

3.ª—*Combinaciones de las dos especies anteriores.* Cuando una bóveda cilíndrica ó cónica de eje horizontal atraviesa un muro, la porcion de aquella que queda comprendida entre los dos paramentos de este es lo que se llama un arco; y así como la bóveda está sustentada por *estribos*, así

tambien sirven de sosten al arco las porciones de estribos interceptadas por el muro, y que se llaman *jambas*. La reunion de arco y jamba es lo que se llama *puerta*, y esta indicacion, muy conforme con las que adelantamos al explicar las arcadas, demuestra que el arco no es otra cosa que una bóveda vaciada en el espesor de un muro, perpendicular ú oblícuamente á su direccion. Claro es que si la bóveda de que se trata es adintelada, el arco será un *dintel*, y la puerta será rectangular, que es la disposicion más comun de los vanos. Cuando una bóveda cilíndrica ó cónica de eje horizontal se termina en muros perpendiculares á su eje, la bóveda es *recta;* y *oblícua,* cuando dichas terminaciones lo son respecto del mismo eje.

La penetracion de una bóveda cónica de eje horizontal á través de un muro, determina, segun hemos explicado, una *puerta cónica,* cuyas secciones rectas pueden ser ó no circulares; y si la mayor de las secciones es la producida por uno de los paramentos, y la menor queda comprendida en el espesor del muro, se podrá completar el vano por medio de una pequeña porcion de bóveda cilíndrica cuya directriz sea dicha seccion menor, y que se termina en el paramento opuesto. En este caso la puerta está formada por dos arcos, uno cónico y otro cilíndrico, sobre sus respectivas jambas. Estas combinaciones se llaman *capialzados*. Cuando la pequeña porcion de bóveda cilíndrica, ó no existe, ó no llega hasta el paramento, y es otra bóveda cónica la que llega hasta él, entonces el arco así compuesto de dos porciones cónicas, separadas ó no por un pequeño cilindro horizontal, toma el nombre de *cañonera,* usada en la arquitectura militar.

L. 14, fig. 136 — L. 14, fig. 137

Trompas. L. 14, fig. 138 — En muchos casos los muros no tienen paramentos planos contínuos, y consideraciones de que no es posible prescindir obligan á establecer la parte más elevada de una fachada, (L. 15, figuras 139 y 140.) por ejemplo, ó de un ángulo de un edificio, con cierta salida ó vuelo respecto de la parte más baja: ya es una gran repisa de balcon ó de coronamiento, ya una tribuna muy destacada del muro que debe sostenerla; ya un muelle, cuya anchura se quiere aumentar sin ahogar la corriente del río, etc., etc. En todos estos casos, no se podria sostener la parte saliente de la construccion superior, sin el auxilio de bóvedas, que son generalmente cilíndricas ó cónicas, comparables á molduras inmensas, capaces de resistir la carga de aquella y trasmitirla al muro inferior que les sirve de estribo. Tal es el objeto y tal la disposicion general de las *trompas cilíndricas* y *cónicas*.

Penetraciones análogas á las de bóvedas cilíndricas y cónicas en los muros son las que se producen entre las bajadas y los muros, y lo mismo que las primeras, pueden las segundas ser rectas ú oblícuas, segun sea el plano vertical del eje de la bajada perpendicular ú oblícuo al del paramento del muro. Mas estas disposiciones son de mal efecto, y como es siempre posible evitarlas, se puede asegurar que jamás se las emplea.

Aristones. L. 15, fig. 141 — Las intersecciones de bóvedas cilíndricas originan varias disposiciones que han sido muy usadas en todos tiempos. La más sencilla es la que se forma por el encuentro de dos bóvedas cilíndricas que no se prolongan más allá de su interseccion, y cubren así un rincon. Si las dos bóvedas son de directriz elíptica (el círculo es una variedad de la elipse),

la curva comun á los cilindros de intradós será una elipse situada en un plano vertical, cualesquiera que sean las aberturas ó luces, siempre que sean iguales las alturas ó monteas; y en el caso particular de ser iguales tambien las luces, el plano vertical que contiene dicha curva es el bisector del ángulo que los dos planos proyectantes de los ejes de las bóvedas forman entre sí. Vista desde el interior la interseccion, á la que se dá el nombre de *ariston*, se presenta entrante desde la clave hácia el encuentro de los estribos ó muros que forman el rincon, y saliente desde la clave hasta el punto opuesto, ó encuentro en esquina de los otros muros ó estribos.

Las dos bóvedas cilíndricas de seccion elíptica y monteas iguales, prolongadas más allá de su encuentro, forman combinaciones que vamos á examinar con detenimiento; porque, muy usadas, su estudio es de la mayor importancia. Al cruzarse las dos superficies cilíndricas de intradós, penetrándose mútuamente, resultan dos curvas de interseccion que se cortan en su punto más alto; estas curvas determinan en cada cilindro con las generatrices de arranque dos triángulos mixtilíneos que, vistos desde la parte interior, ocultan dos porciones de la superficie cilíndrica de la otra bóveda; de modo que, suprimiendo en ambas los cuatro triángulos, quedarán de cada bóveda dos partes, que sólo presentarán una generatriz contínua: la más alta. La reunion de esas cuatro partes de cilindro, dos de cada bóveda, constituye lo que se llama *bóveda por arista* (1). Y si el espacio cubierto, en vez de — Bóvedas por arista (1). L. 15, fig. 142

(1) Si es incorrecta esta denominacion, no lo es ménos la que algunos emplean al llamarlas *bóvedas de arista*. Creemos que seria más propio decir: *bóvedas de ó con aristones cruzados*. Pero no aspi-

abrazar toda la extension de las naves, se limitase al cuadrilátero de planta que es comun á ambas, entonces la bóveda quedaria circunscrita entre cuatro arcos de interseccion de cada cilindro por los estribos del otro. Generalmente el ángulo de los ejes de las bóvedas es recto; el cuadrilátero comun es un rectángulo, ó un cuadrado si las luces son iguales, y los cuatro arcos de que acabamos de hablar son secciones rectas. Las bóvedas por arista son susceptibles de muchas variedades: la arquitectura de la Edad Media es riquísima en aplicaciones de esta especie; los constructores de esa época jugaban, por decirlo así, con las combinaciones de las superficies cilíndricas, y de ellas tomaban, como verémos, los más variados y peregrinos motivos de decoracion.

L. 15, fig. 143

Dobles aristones.

Los aristones pueden ser dobles, ya concurran á la clave, en cuyo caso la planta viene á ser octogonal, ya concurran cada dos á las esquinas en los arranques: ambas disposiciones nacen de la intervencion de dos nuevas superficies cilíndricas, cuyos ejes están en direccion de las diagonales. Las bóvedas por arista sencilla, ó de dobles aristones, ó de plantas poligonales, pueden, cuando son de construccion mixta, quedar reducidas, en lo sustancial, á los cuatro arcos de piedra de las secciones de cabeza (ó mayor número si la planta es un polígono), y á los arcos diagonales, tambien de piedra, de los aristones; los espacios cilíndricos (ó de otras formas) intermedios son ocupados por hormigon ó menudos materiales; ya hemos hecho sobre esta disposicion

ramos á crear nombres nuevos, y adoptamos el que estamos acostumbrados á usar.

algunas indicaciones: no es una bóveda por arista verdaderamente; pero como derivada de ella, y con ella muy relacionada, se la puede legítimamente considerar como una variedad de la especie.

Otras variedades.

L. 15, fig 144

Darémos, finalmente, á conocer otro tipo de disposicion muy ingenioso y bastante usado. Supóngase una bóveda de cañon seguido, cuya luz sea mayor que la de otra bóveda cilíndrica, que por su interseccion con la primera produce una bóveda por arista sobre un espacio rectangular, y que, siendo el primer cañon de una longitud considerable (una galería, por ejemplo), las bóvedas incidentes se limitan en sus secciones rectas de cabeza, aparentes del lado de las fachadas. Como su anchura es menor que la del cañon principal, para que las bóvedas por arista sean como las que hemos explicado, es preciso que la seccion recta, ó arco aparente en la fachada, sea una elipse de mayor altura que luz, lo cual, además de su aspecto desagradable, es impropio para arcadas. Para salvar este defecto artístico se podria, sin duda, hacer el arco circular de la arcada de igual altura que la anchura de la elipse, y ésta, que es la seccion recta del cilindro, se detendria en el paramento interior de la fachada, en el cual se veria así una especie de media luna, comprendida entre el medio punto de la arcada y la elipse directriz de la bóveda cilíndrica. Pero el efecto interior de esta disposicion no seria ménos malo que el exterior que se ha evitado; y lo mejor parece tomar los arcos de medio punto de la arcada, tanto en uno como en otro estribo del cañon principal, como directrices de una superficie de revolucion, cuyo eje será la recta que une sus centros, y cuya generatriz un arco que,

en su posicion más alta ó vertical, pasaria tocando el vértice de la seccion recta del cañon principal para terminar en los vértices de las semicircunferencias directrices. Ya se comprende que los aristones son curvas de doble curvatura, y la bóveda así compuesta no es, en realidad, una bóveda por arista.

Esquifadas. L. 15, figuras 142 y 145. Si cerrando por muros los cuatro lados del rectángulo de la planta, se la cubre con los cuatro triángulos mixtilíneos, que antes consideramos suprimidos, la reunion de esas cuatro porciones de los dos cilindros constituye lo que se llama *bóveda esquifada* ó *claustral*. En ella los aristones son entrantes, y no salientes como en la anterior; y además las generatrices más altas ó de clave de cada bóveda quedan reducidas á un punto, mientras que en la anterior esas generatrices son las únicas que no quedan cortadas y que subsisten íntegras. La disposicion de aparejo de las bóvedas esquifadas permite la supresion de la clave, y áun de varias de las hiladas superiores; y algunas veces se practica este modo de dar luz á las habitaciones que cubre. Es tambien muy frecuente la sustitucion de algunas de las hiladas superiores por una bóveda adintelada para cubrir salones de importan-
L. 15, fig. 146 cia. Las bóvedas esquifadas pueden tambien cubrir plantas poligonales (1).

4.ª—*Alabeadas.* Aunque el constructor debe siempre evitar el empleo de disposiciones que exijan esta especie de bóvedas, porque son de muy difícil y costosa ejecucion, es útil, sin embargo, conocerlas, no porque deje de ser siempre posible evitarlas, sino porque en obras de reparacion de

(1) El número de lados ha de ser par.

antiguos monumentos es á veces preciso restaurarlas. Las superficies de intradós de estas bóvedas pueden ser conóides, helizóides y cilindróides: son estas, al ménos, las más usadas. Las hay tambien cuya superficie de intradós no es de generatrices rectilíneas, y solamente lo son las de junta; así se puede disponer las juntas de la bóveda elíptica y otras que oportunamente citarémos.

Una bóveda cuyas directrices sean una recta vertical y Conóides. L. 15, fig. 147
un semicírculo ó semielipse, ú otros arcos, y cuyas generatrices estén sujetas á la condicion de ser líneas rectas paralelas á un plano, en general horizontales, es un conóide. Si la bóveda no pasa del espesor de un muro, es una *puerta conoidal*, y si se combina en el espesor con una porcion de superficie cilíndrica, es un *capialzado conoidal*. Si en un muro de gran espesor se ha de practicar una puerta que por L. 16, fig. 148
razones de conveniencia artística, ó de necesidades de construccion, deba aparecer á un paramento en arco, y al otro en dintel, un conóide es la superficie de intradós indicada para enlazar el arco y el dintel; en este caso la recta horizontal que limita el dintel, y la seccion recta del arco serán las directrices, y la generatriz rectilínea será paralela á un plano perpendicular al eje del muro. Más adelante verémos otras aplicaciones de los conóides.

En las escaleras de espigon y en los tramos curvos de las Helizóides
de zanca, la superficie inferior viene á ser el intradós de una bóveda, cuyas directrices son dos hélices de igual paso, trazadas en los cilindros del espigon y de la caja ó muro, ó trazadas en los cilindros tangentes á los paramentos de las zancas rectas y á los muros de la caja que forman el cambio

de direccion: en ambos casos, la generatriz es horizontal; la bóveda es un *helizóide alabeado;* y cada peldaño viene á ser una dovela.

Cilindróide. L. 16, fig. 149

Pero en algunos casos puede convenir más otra disposicion, suponiendo que se quiere sostener una escalera en planta rectangular con cambios en cada ángulo de la caja. En los planos verticales bisectores de dichos ángulos se trazan semielipses ó semicircunferencias iguales: cada dos de estas curvas son directrices de un cilindróide, cuyas generatrices son paralelas en cada tramo al muro de caja correspondiente.

Paso oblícuo. L. 16, fig. 150

Otra de las aplicaciones de las superficies alabeadas es la conocida generalmente con el nombre de *paso oblícuo* ó *cuerno de vaca.* Se trata de practicar un vano oblícuamente en un muro: los arcos aparentes del vano en cada paramento son iguales, como los presentaria una bóveda cilíndrica oblícua; pero la superficie de intradós, en vez de ser cilíndrica, será engendrada por una recta que se apoye en todas sus posiciones sobre los dos arcos de paramento y sobre una recta (perpendicular al muro) que pasa por la interseccion de las diagonales del paralelógramo formado por los arranques de la bóveda. Esta disposicion es más curiosa que útil, porque además de la irregularidad y desagradable aspecto que presenta, los planos de junta, que pasan por la recta directriz, sólo son normales al intradós en la seccion media. Seria, pues, preferible el cilindro oblícuo, evitando el empuje al vacío por medio de planos de junta trazados como en el cuerno de vaca; las aristas de intradós serian arcos de elipse, pero este inconveniente no es tan grave.

BÓVEDAS DE GENERATRICES CURVILÍNEAS.

1.ª—*Anulares.* En un plano horizontal existen dos curvas paralelas, que son las directrices; y otra curva, generalmente una semicircunferencia ó semielipse, cuyo plano es normal á las primeras, se mueve de modo que, sin dejar de ser normal en todas sus posiciones, apoye sus extremidades constantemente en las directrices: tal es la bóveda *anular* que, como se vé, no es otra cosa que un cañon cilíndrico en planta curva. L. 16, fig. 151

Lo mismo que en las bóvedas cilíndricas se forma una série de bóvedas por arista por sus intersecciones con otras de la misma especie, así tambien en las anulares se hacen combinaciones análogas, á que se llama *bóvedas por arista anulares.* Pero como no son cilindros los que penetran en la bóveda principal, para que estén comprendidas entre dos planos normales á las directrices, se hace de modo que sean unos conóides, cuyas directrices son la recta vertical segun la cual se cortan los planos normales, y una curva (en general una semicircunferencia), cuya abertura se hace casi siempre igual al diámetro de la generatriz de la anular, y se sitúa más ó ménos próxima á la recta directriz segun se quiera que sea más ó ménos abierto el conóide. Cuando las directrices de la bóveda anular, en vez de ser curvas planas horizontales, son hélices de igual paso situadas en cilindros concéntricos, se dice que la bóveda anular en bajada, así dispuesta, es *un tornillo;* esta disposicion es á veces emplea- Bóvedas por arista anulares.

da para sostener escaleras de espigon, ó de zanca con tramos curvos.

Cúpulas. L. 16, figuras 152 y 153. 2.ª—*Esféricas*. Es innecesario que digamos cómo se engendra la superficie esférica. La bóveda de este nombre es un hemisferio cuya base es un círculo horizontal, ó un casquete esférico que se termina inferiormente en un paralelo horizontal. El muro que sostiene esta bóveda es generalmente cilíndrico, y entonces la planta cubierta por ella es circular; así son las cúpulas sobre rotondas de los últimos tiempos de la arquitectura romana y de los primeros del cristianismo. Se disponen tambien las bóvedas esféricas sobre planta cuadrada: para formarse una idea de esta disposicion, basta considerar que á la circunferencia que sirve de L. 16, fig. 154 base á la bóveda esférica sencilla se inscribe un cuadrado, y que levantando sobre los lados de dicho cuadrado planos verticales, se suprima de la bóveda los medios casquetes esféricos que su interseccion determina. Queda así de la primera disposicion un casquete superior y cuatro triángulos curvilíneos comprendidos entre los círculos que limitan los planos verticales: los cuatro triángulos se llaman *pechinas*. La bóveda así aparejada se llama *vaida*. No hay necesidad de que los planos verticales sean muros llenos; se les puede vaciar en arcos, de modo que de ellos sólo queden piés derechos sustentando las arcadas que constituyen su interseccion con la semiesfera; la bóveda estará así sostenida por cuatro apoyos aislados, unidos por cuatro arcos que abrazan las pechinas. Estos cuatro arcos se llaman *torales:* tal es el tipo de la cúpula bizantina, que la arquitectura occidental altera y complica algo más.

Modificaciones de las cúpulas. Desaparece el casquete esférico superior, y le sustituye un cuerpo cilíndrico elevado y cubierto por una bóveda esférica: ese cuerpo cilíndrico descansa sobre lo que era antes base del casquete, que es el coronamiento de las pechinas; estas no son ya triángulos esféricos, porque sus extremidades inferiores deben presentar más base, como los pilares mayor seccion; lo cual se consigue achaflanando los entrantes de los apoyos, ú ochavando la planta cuadrada primitiva; las aristas superiores horizontales de los chaflanes son, en el plano horizontal de arranque de la bóveda, las cuerdas de los arcos de nacimiento de las pechinas, las que vienen así á ser trapecios esféricos, única cosa que se conserva de la cúpula modificada. Todavía algunos arquitectos han introducido mayores complicaciones, sustituyendo á las pechinas esféricas otras superficies alabeadas no regladas; no nos detendrémos en estos y otros, no siempre bien fundados, entortijamientos. Cualquiera que sea la disposicion adoptada, se comprende que los arcos torales pueden ser secciones rectas de bóvedas cilíndricas que cubran dos naves cruzadas; y la cúpula sobre pechinas sustituye entonces, á veces con ventaja, á la bóveda por arista, porque la disposicion permite elevar la clave á mayor altura que las naves, y además es susceptible de recibir luz vertical por medio de aberturas superiores, lo cual no es posible en las bóvedas por arista.

Nichos. Otra variedad de esta especie de bóvedas es el *nicho*, que no es más que la mitad de una bóveda esférica, dividida por uno de sus meridianos verticales; de modo que esta disposicion es la cuarta parte de una esfera, y el muro que la sos-

tiene es un medio cilindro; la bóveda puede tambien ser la mitad de un casquete esférico. Si el arco meridiano es seccion recta de una bóveda cilíndrica, la disposicion que resulta es una bóveda compuesta muy usada en las iglesias. Algunas veces se cubren las criptas y los panteones por bóvedas esféricas, y las escaleras ó rampas de entrada están cubiertas por bajadas, cuya penetracion dá lugar á un aparejo, que forma otra variedad de la especie que estamos estudiando. La curva interseccion es, en el caso general, de doble curvatura; pero se acostumbra, para mayor sencillez, escoger como ariston una circunferencia de círculo menor vertical, y hacer servir esta curva plana de directriz á la bajada. Tambien para dar entrada á una rotonda cubierta por bóveda esférica, se dispone una penetracion de cañon seguido, que se apareja por procedimientos sencillos.

L. 16, figuras 155 y 156. 3.ª—*De revolucion.* Un arco cualquiera de los que hemos dado á conocer, por su rotacion al rededor de su eje vertical de simetría, engendra una *bóveda de revolucion.* Las bóvedas cónicas, esféricas y anulares (1), que hemos descrito, son casos particulares de esta especie; y todo lo que hemos dicho sobre las cúpulas y sobre las penetraciones en la esfera les es aplicable. Es más; muchas veces se llama bóvedas esféricas impropiamente á algunas que, no teniendo generatrices circulares, no lo son en realidad: son verdaderas bóvedas de revolucion.

L. 16, fig. 157 4.ª—*Elípticas.* La generatriz de esta bóveda es una elip-

(1) El eje de la revolucion en las anulares no es de simetría respecto de la curva generadora: está fuera de su contorno; pero es de simetría respecto de la superficie engendrada.

se, que girando al rededor de su eje mayor horizontal, la engendra: es, como se vé, un semielipsóide de revolucion, cuyo eje mayor, que es el de rotacion, es horizontal, y está en el plano de arranque. El muro que la sostiene es cilíndrico y su seccion recta es el arranque de la bóveda. Si, á semejanza de lo que se practica en la bóveda esférica, las superficies de junta fuesen conos cuyo vértice estuviese en el centro del elipsóide, no serian normales al intradós más que en el plano del ecuador, que es un círculo; esta seria disposicion viciosa, y el *Corte de piedras* enseña varios procedimientos para salvar la dificultad, adoptando para superficies de junta, ya conos cuyos vértices se determinan en las intersecciones del eje vertical con las normales á secciones diametrales medias, ya superficies alabeadas ó ya desarrollables, cuyas generatrices son normales á las aristas elípticas del intradós, ó ya, finalmente, otros medios más ó ménos complicados, que aquí no es posible detallar.

VANOS PARA DAR LUZ Á LAS BÓVEDAS.

La manera de dar luz á los espacios abovedados presenta en algunos casos sérias dificultades, y á reserva de ocuparnos detenidamente de ella en el estudio de las partes de los edificios, y especialmente en el de las salas, indicarémos aquí los procedimientos de que el arte se vale para abrir vanos en las diferentes bóvedas que hemos descrito. En las esquifadas, esféricas, algunas disposiciones de las adinteladas, y en las de revolucion, la estructura de su aparejo permite Lumbreras.

suprimir la clave, y áun algunas de las hiladas superiores, y reemplazarlas por lumbreras cerradas por cristales. Se ven ejemplos de estas disposiciones en la mayor parte de las cúpulas de las iglesias; tambien se puede aplicar este procedimiento á las galerías de pinturas, en donde á veces los cuadros deben recibir la luz en determinadas direcciones. Cuando esas clases de bóvedas separan unos pisos de otros, se pueden emplear las aberturas indicadas, no ya para dar paso á la luz, sino para establecer comunicacion, elevar fardos, ó hacer suelos movibles (1), que en algunos grandes edificios modernos han sido empleados con éxito.

Lunetos. En las bóvedas cilíndricas entra la luz lateralmente por medio de penetraciones de otras bóvedas de la misma especie, ó cónicas de eje horizontal, cuya altura de clave es menor que la del cañon principal. Estas penetraciones son conocidas con el nombre de *lunetos cilíndricos ó cónicos;* y tambien se puede practicarlos en las bóvedas esféricas y las de revolucion; pero en estas últimas se usa con más frecuencia la penetracion de un cono recto completo de seccion circular: es lo que se llama *ojo de buey;* su eje generalmente pasa por el centro de la bóveda.

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE BÓVEDAS.

En las construcciones monumentales la piedra es el material preferido para la construccion de las bóvedas; á la vez

(1) Llamados por algunos *ascensores.*

más durable y resistente, parece reunir las mejores condiciones para desafiar la destructora accion del tiempo; pero además de su gran precio, de su difícil labra y de su penosa colocacion en obra, es material muy pesado y fatiga demasiado los muros de los estribos, obligando á darles espesores muy fuertes. Los sillarejos y el ladrillo no tienen esos inconvenientes; pero aún existen y se han empleado desde la antigüedad romana otros materiales más ligeros, como son el hormigon y tubos ó vasos de barro, como pequeñas ánforas, que, con más adherencia al mortero, se prestan muy bien á recibir un enlucido que jamás se desprende. Si el carácter de la obra permite sacrificar un poco á la ligereza la excesiva robustez, se puede emplear la construccion mixta de piedra y ladrillo, ó de ladrillo y hormigon, ó tubos de barro como los que hemos dicho, cuando las presiones no son considerables. Adoptando cualquiera de estos procedimientos de construccion mixta, conviene que los materiales más ligeros entren en las partes de la bóveda más próximas á la clave, y los más pesados y resistentes hácia los arranques.

Existen en el arte moderno ciertas construcciones que imitan toda clase de formas de bóvedas de mampostería: son lo que podríamos llamar bóvedas de entramado. Hábiles y bien entendidas disposiciones de carpintería, con piezas curvas ó con articuladas piezas rectas, han podido acomodarse á todas las formas, y recibiendo un revestimiento de yeso ó mortero, que figura el intradós de la bóveda, han sido sin duda dignas de admiracion y elogio; preciso es reconocerlo. Pero la admiracion se detiene donde comienza el juicio crí- Bóvedas fingidas.

tico del constructor; porque esas bóvedas fingidas carecen de todas las condiciones que exigen los preceptos del arte: no tienen de las verdaderas más que la forma aparente. Y si á esto se añade que las maderas envueltas en una capa de mortero, privadas de aire y ocultas, se descomponen en poco tiempo, y podrian ocasionar una ruina prematura, sin haberse podido conocer su verdadera causa en oportunidad de evitarla, no se deberá vacilar un instante en condenar de una manera absoluta esas disposiciones y proscribirlas por completo.

Hierro. No se debe decir lo mismo del empleo del hierro; y creemos, al contrario, que su aplicacion á la construccion de bóvedas está llamada á un gran porvenir. Ya la piedra, ya la mampostería han pedido, y piden todos los dias, desde que las dimensiones de las obras exceden un poco de las proporciones habituales, auxilio al hierro, sin cuya poderosa y eficaz intervencion la gran cúpula de San Pedro, asombro de todo el mundo y gloria del Renacimiento, hubiera caido en pedazos, y estaria reducida á escombros; multitud de arcadas, de bóvedas, de pórticos, de galerías, no habrian podido sostenerse en Italia; y en Francia otras construcciones no habrian podido ser levantadas; y de tal modo es así, que hoy no se hace un dintel, ni un arco de piedra de regular abertura sin fiar su principal resistencia á barras, anclas, tirantes, estribos de hierro. Una de las bellas concepciones de la arquitectura de la Edad Media es, como ya hemos dicho, la de sus soberbias y atrevidas bóvedas. Y no son bóvedas en realidad: son arcos combinados, entrelazados de un modo tal, que en ellos, y sólo en ellos, residen la fuerza, la estabilidad de la construc-

cion; forman los nervios sobre los cuales descansa todo lo demás, que es un simple relleno, como si fuera un forjado. Pues bien, sustitúyase esos arcos de piedra de grandes espesores y de difícil ejecucion, por arcos de hierro, tan fuertes, tan resistentes ó más que los primeros, de ménos peso, de menor grueso, y cuya forma curva no crea dificultad alguna de ejecucion, porque la materia se presta admirablemente á recibir las que la industria quiera darles; sosténgase dichos arcos por apoyos de hierro, y no por esos pilares de piedra ó mampostería de enormes dimensiones; y dígase despues de considerar este conjunto sólido, resistente, delgado, ligero y elegante, y de compararlo con el otro, pesado, grueso, difícil y costosísimo, si la aplicacion del hierro presenta un sólo inconveniente, y si, por el contrario, no están á su favor todas las ventajas (1). L. 17, figuras 158 á 166.

Proporciones. En las bóvedas hay que considerar las proporciones bajo dos distintos puntos de vista. Primeramente el espesor de la bóveda en cada uno de sus puntos, y el de los muros ó estribos que la sostienen, ya esté aquella cargada de algun peso adicional ó sólo del suyo propio, deben ser determinados, segun las aberturas ó luces, la forma del intradós, la clase de materiales empleados, y otros varios datos que pueden modificar las condiciones generales. Despues es preciso considerar las proporciones bajo el aspecto artístico, y este es un problema que se halla íntimamente ligado con las con-

(1) Los tipos de bóvedas de hierro que figuran en nuestra lámina han sido tomados de los interesantes artículos publicados por el ingeniero civil francés Mr. Mathieu en el *Propagateur des travaux en fer*, de Oppermann.

diciones de la sala ó habitacion que la bóveda ha de cubrir. Dejando, pues, este último estudio para la segunda parte de la arquitectura, que se ocupa de las diferentes partes de los edificios, entremos en el primero, que requiere un desarrollo especial del mayor interés.

LECCION VIII.

PROPORCIONES DE LAS BÓVEDAS

PARA QUE SEAN ESTABLES Y RESISTENTES (1).

La estabilidad de una bóveda, como la de todo macizo compuesto de varios elementos, no es el resultado de la resolucion de un problema de equilibrio estático en un sistema de cuerpos bajo la accion de fuerzas determinadas. Si así se considerára la cuestion, seria preciso admitir que una construccion es estable desde que hay equilibrio fundado en la invariabilidad casi absoluta de las fuerzas que sobre ella

Cómo se entiende la estabilidad práctica de una bóveda.

(1) Todo lo que en esta leccion figura, se explica con más detalle en la clase de mecánica aplicada á las construcciones; por esa razon nos hemos limitado á exponer aquellas ideas que aquí hemos creido necesario consignar.

actúan; semejante estabilidad no puede ser la requerida en el arte de construir, porque es indispensable admitir y prever, no sólo la posibilidad, sino la probabilidad de que dichas fuerzas experimentan alteraciones más ó ménos sensibles, y evitar de todos modos que estos cambios ocasionen deformaciones y dislocaciones que serian seguidas de la ruina de la obra.

Objeto de este estudio.

Así entendida la estabilidad práctica, empecemos por considerar que una bóveda está compuesta de elementos separados unos de otros por las juntas, que son las superficies de contacto. Todo esfuerzo que obre sobre una de estas superficies oblícuamente produce en ella dos distintas acciones; una normal, que es la presion, y otra en sentido de la tangente, que impulsa á uno de los elementos á resbalar sobre el inmediato. Si la disposicion de una bóveda, su estructura, la naturaleza de los materiales que la componen, y las proporciones de todas sus partes no han sido de tal modo combinadas, que opongan una resistencia capaz de vencer aquellas acciones, la ruina es inevitable. Preciso es, pues, que el arte enseñe los medios que el constructor ha de emplear para garantir una bóveda contra los efectos que las acciones indicadas tienden á producir. Es el estudio que vamos á hacer.

Se prescinde de la cohesion y adherencia de los materiales.

Pero antes advertimos que, aunque generalmente se interpone en el espacio que separa las dovelas de la bóveda una capa más ó ménos gruesa de mortero, y la cohesion de este, así como su adherencia á los materiales que liga, son resistencias considerables opuestas á las componentes tangenciales de las fuerzas exteriores, y favorables por tanto á

la estabilidad de la construccion, es, sin embargo, costumbre prescindir de esos términos ventajosos, porque poco conocidas las leyes que determinan sus valores en cada caso, seria falible toda apreciacion que aspirase á exactitud. Baste saber que el tiempo endurece y petrifica las mezclas, aumentando de una manera asombrosa dichas resistencias pasivas. Sólo sí consideramos, entre estas, el rozamiento, cuyas leyes, bien estudiadas, conocidas y experimentadas, han permitido la formacion de tablas contenidas en todas las obras de construcciones, que dan los valores del coeficiente de rozamiento para las varias especies de materiales que entran á componer los macizos. No es preciso explicar aquí, y basta sólo recordar, que esos coeficientes expresan la relacion del rozamiento á la presion; que son sus valores independientes de la extension de las superficies rozadas, y de la mayor ó menor rapidez del movimiento de un cuerpo sobre otro, ó de la velocidad relativa si los dos se mueven; y finalmente, que se llama ángulo de rozamiento el que tiene por tangente trigonométrica el valor numérico del coeficiente. Rozamiento

Estado actual de la teoría.

Natural parece que, conocidas y determinadas las fuerzas exteriores que obran sobre una bóveda, cuya altura y superficie de intradós sean dadas, se deduzca para cada especie del material empleado en su construccion, por procedimientos directos, las formas y dimensiones de las demás partes que han de constituir la bóveda propiamente dicha y los muros que la sostienen. El estado actual de los conocimientos científicos no permite, sin embargo, ese modo riguroso y lógico de proceder.

Las bóvedas constituyen desde tiempos muy antiguos un elemento importantísimo de la arquitectura; los magníficos puentes, acueductos y panteones romanos; las grandes cúpulas bizantinas, sustentadas por apoyos angulares y pechinas; las atrevidas y complicadas disposiciones de las bóvedas góticas, levantadas sobre altísimos pilares; la gran cúpula ojival de Brunelleschi en Santa María dei Fiori, no han podido ser, y no han sido ciertamente, obras ejecutadas con sólo el auxilio de la imitacion, porque el gran mérito de la mayor parte de ellas está precisamente en la novedad é independencia de su concepcion, y en el arrojo con que parecen casi desafiar las leyes del equilibrio. Es violento pensar que los grandes maestros del arte romano, los artistas neo-griegos, los arquitectos de la Edad Media, y los padres del Renacimiento, resolvieran difíciles problemas de mecánica sin el perfecto conocimiento de los principios y de las leyes de la estabilidad, porque sin estos, no se concibe que por una especie de intuicion crearan esos monumentos, orgullo y gloria de su época, y justa admiracion de la nuestra.

No obstante, una verdadera teoría del equilibrio de las bóvedas, general, directa y rigorosa, no puede hoy ser aplicada *á priori* por un arquitecto con plena y absoluta confianza; y la manera de proceder es, en realidad, una comprobacion y rectificacion *á posteriori*, que bastan sin duda para todas las aplicaciones prácticas. Verdad es que existe una teoría moderna inventada por Mr. Ivon de Villarceau, sancionada por el voto de eminentes sábios de la Academia de Ciencias de París; teoría que, satisfaciendo las condiciones de una investigacion directa, lógica, precisa y completa, permite determinar las formas más apropiadas para resistir la accion de fuerzas exteriores conocidas con el mínimum de espesor práctico. Es extraño que ese método, llamado á operar una revolucion en el campo de las aplicaciones, no se haya generalizado hasta el dia; lo cual acaso consiste en que, además del miedo que siempre impone todo lo que es nuevo en el arte de construir, y de la complicacion de procedimientos analíticos elevados, las curvaturas variables del intradós y del trasdós, que se deducen de dicha teoría, exigen mayores dificultades y más costo en la labra de las dovelas. Debemos, sin embargo, manifestar que esta teoría ha sido el objeto de algunas aplicaciones, primeramente en Francia, y áun en España, en donde un distinguido Ingeniero de caminos empleó dicho método en un puente construido en Extremadura. Quisiéramos extendernos algo más sobre el único procedimiento que hasta hoy parece conducir á la resolucion directa del problema de las bóvedas, y por cuyo medio se alcanza el máximum de estabilidad con las formas y trazados de mayor atrevimiento y seguridad; pero esto nos obligaria á salir del círculo que el carácter de este trabajo nos impone.

Ivon de Villarceau.

Comparacion con la catenaria.

Si se prescinde del rozamiento, y se considera una porcion elemental de bóveda, sometida sólo á la accion de las presiones normales entre las dovelas, el cálculo confirma, y la razon parece desde luego indicar, que la curva de equilibrio es la catenaria. En efecto, el hilo viene aquí á ser de piedra, sus elementos son las dovelas, y las tensiones del polígono funicular son reemplazadas por las mútuas presiones

de aquellas; así es que la ecuacion de la curva-límite del polígono formado por dichas presiones coincide con la de la catenaria, cuando las fuerzas exteriores producen no más que presiones normales á las superficies de junta. Esta hipótesis no se realiza, sin embargo, en la práctica; porque en la distribucion de fuerzas dentro del macizo de una bóveda resultan sobre las superficies de junta acciones oblícuas, que dan lugar á componentes tangenciales, á cuyo efecto de deslizamiento de las dovelas se opone el rozamiento; y desde que interviene esta resistencia, deja ya de existir la condicion hipotética establecida para llegar á la semejanza de la curva de equilibrio de la bóveda con la curva funicular.

Modos de rotura.

Esta circunstancia ha inducido á investigar prácticamente los diferentes modos de rotura de las bóvedas, y á plantear el problema bajo nuevas y diferentes bases. Se observa que en las bóvedas cilíndricas de medio punto, lo general es que, en caso de rotura, la superficie de junta en la clave se abra por el intradós, y las correspondientes á 30° sobre el plano horizontal de los arranques se abran por el trasdós. En las escarzanas la junta de clave se abre del mismo modo; pero las que se abren por el trasdós son las de los arranques, cuyo movimiento se efectúa comprimiendo y arrollando de abajo á arriba el relleno de los tímpanos. En las ojivales el movimiento que se manifiesta en la rotura es inverso; la junta de clave se abre por el trasdós, y las otras por el intradós. Se comprende que, al fraccionarse y desligarse así la unidad del macizo, queda este dividido en cuatro partes (incluyendo los muros), que se impelen unas á otras, ya en sentido de giro al rededor de las aristas exteriores ó interiores, segun los casos, ya en el de resbalamiento sobre las superficies de asiento en una ú otra direccion. Nosotros no vamos á considerar otros modos de rotura, raras veces observados, como son los que indican las figuras. Estas observaciones revelan claramente una disposicion natural en las bóvedas, una verdadera tendencia á caer de un modo especial; y este es el primer dato, la primera base de la cuestion, cuyo planteamiento es entonces muy sencillo. Contrariar esa tendencia es su objeto; examinar si las formas y proporciones adoptadas son las que mejor conducen á alcanzarlo es el deber del arquitecto.

L. 16[2], figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

Empuje en la clave.

El problema, pues, en general, es el siguiente. Se dá la bóveda proyectada, y se la supone dividida por un plano vertical que contenga la más alta generatriz del intradós. Si las dos partes en que este plano divide la bóveda estuvieran separadas, claro es que caerian hácia el interior por virtud de su peso; y si reunidas no caen, es porque dichas partes se sujetan, se apuntalan mútuamente, y cada una de ellas se opone á la caida de la otra, ejerciendo una reaccion capaz de contrarestarla y de vencer aquella tendencia. Esta mútua reaccion de las dos partes es el *empuje en la clave;* y es muy fácil comprender que, para que haya estabilidad, deberá la construccion estar de tal modo proporcionada, que resista á dicho empuje; y para comprobarlo, se deberá comenzar por la determinacion de la intensidad, direccion y punto de aplicacion de esa fuerza.

Juntas de rotura.

Las formas de la bóveda permiten apreciar, basándose en la experiencia, la posicion aproximada de la junta de rotura; para que esta se verifique, segun el primer modo antes

L. 16[2], figura I. explicado (figura I), seria preciso que las porciones $a\,b\,c\,d$-$a'\,b\,c\,d'$, girando alrededor de a-a', y empujando hácia afuera las otras dos partes, tendiesen á caer hácia adentro, abriéndose por el intradós en c y tocándose y comprimiéndose por el trasdós en b. En este estado, es decir, al comenzar á manifestarse la deformacion, es indispensable que haya equilibrio en el sistema al rededor de a-a' entre el empuje *desconocido*, aplicado á la arista de trasdós b, y las fuerzas exteriores *conocidas* que actúan sobre $a\,b\,c\,d$ - $a'\,b\,c\,d'$, así como al rededor de e-e' entre la reaccion *desconocida* sobre a-a', y las fuerzas exteriores *conocidas* que actúan sobre $a\,d\,e\,g$-$a'\,d'\,e'\,g'$.

Condiciones de equilibrio.

Admitiendo que las posiciones de las juntas $a\,d$-$a'\,d'$ sean conocidas, no habrá en las ecuaciones de los momentos, que expresan las respectivas condiciones de equilibrio, más incógnitas que el valor del empuje en la clave y los de las reacciones en a-a', que son de fácil determinacion. Dichas condiciones son:

1.ª E (empuje) $\times\ \varepsilon$ (brazo de palanca respecto de a) $= F$ (fuerzas exteriores sobre $a\,b\,c\,d$) . φ (brazo de palanca);

de la cual se deduce

$$E = \frac{F \cdot \varphi}{\varepsilon}.$$

2.ª E' (empuje) $\times\ \varepsilon'$ (brazo de palanca respecto de a') $= F'$ (fuerzas exteriores sobre $a'\,b\,c\,d'$) . φ' (brazo de palanca),

y

$$E' = \frac{F' \cdot \varphi'}{\varepsilon'}.$$

3.ª R (reaccion en a) $= \sqrt{E^2 + F^2 + 2\,E\,F \cdot \cos \overline{E\,F}}$ (determinada, así como su brazo de palanca ρ, respecto del punto e).

4.ª $R \times \rho = F_{,}$ (fuerzas exteriores sobre $a\,d\,e\,g$) $\times\ \varphi_{,}$ (brazo de palanca respecto de e).

5.ª R' (reaccion en a') $= \sqrt{\overline{E'}^2 + F'^2 + 2E'F' \cdot \cos \overline{E'F'}}$ (determinada, así como su brazo de palanca ρ', respecto del punto e').

6.ª $R' \times \rho' = F_{,}'$ (fuerzas exteriores sobre $a'\,d'\,e'\,g'$) $\times\ \varphi_{,}'$ (brazo de palanca respecto de e').

La igualdad de E y E', requerida para el equilibrio, dá la relacion

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{F\,\varphi}{F'\,\varphi'};$$

y, conocida la razon $\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$, que es

$$\frac{b\,m}{b\,a} = \frac{k\,m}{a\,h} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon'},$$

resulta determinada la direccion $E\,E'$ del empuje en la clave.

Las expresiones tercera y quinta dan las intensidades y direcciones de las reacciones en a y a', en funcion del empuje deducido de la expresion primera ó segunda, y cuya direccion acabamos de determinar.

Y siendo las cuarta y sexta las condiciones de equilibrio al rededor de e y e', si al sustituir en ellas por las letras sus valores, conocidos en cada caso, los primeros miembros resultan mayores que los segundos, la bóveda no resistirá; si ambos miembros resultan iguales, habrá equilibrio *estático;* y si el segundo excede al primero, entonces habrá estabilidad práctica siempre que la relacion de ambos no baje del *valor-tipo* que la experiencia ha fijado entre ciertos límites, y que se llama *coeficiente de estabilidad.* Su valor medio es generalmente 1,20. Bajo este concepto, las fórmulas *prácticas* serán las siguientes:

Fórmulas prácticas.

[1] $E = E' = \frac{F \cdot \varphi}{\varepsilon} = \frac{F' \cdot \varphi'}{\varepsilon'}$ (valor de la intensidad del empuje).

[2] $\frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{F \times \varphi}{F' \times \varphi'}$ (relacion que determina la direccion del empuje).

[3] $R \times \rho \times 1{,}20 = ó < F_{,} \times \varphi_{,}$ (para la parte de la derecha).

[4] $R' \times \rho' \times 1{,}20 = ó < F' \times \varphi_{,}'$ (para la parte de la izquierda).

R.... ρ.... R'.... ρ'.... son valores conocidos en funcion de F.... E.... F'.... y de los ángulos que forman.

Si se considera que los momentos de las resultantes R y R' son iguales á las sumas de los momentos de sus respectivas componentes E y F, E' y F', se podrá sustituir á las dos fórmulas [3] y [4] las siguientes:

E (empuje en la clave) $\times\, e$ (brazo de palanca respecto de e) $\times\, 1{,}20$ (coeficiente de estabilidad) $= ó < F_r$ (resultante de F y $F_{,}$) $\times\, f$ (brazo de palanca respecto de e).

Y para la parte de la izquierda

E (empuje) $\times\, e'$ (brazo de palanca respecto de e') $\times\, 1{,}20$ (coeficiente de estabilidad) $= ó < F_r'$ (resultante de F' y $F_{,}'$) $\times\, f'$ (brazo de palanca respecto de e').

[5] $E \times e \times 1{,}20 = ó < F_r \times f$ (para la parte de la derecha).

[6] $E \times e' \times 1{,}20 = ó < F_r' \times f'$ (para la parte de la izquierda).

Si de la aplicacion de estas ó las anteriores fórmulas resultase una desigualdad en sentido inverso, la bóveda proyectada no resistiria al primer modo de rotura, que es el que vamos considerando. Será preciso modificarla de suerte que disminuyan los primeros miembros ó aumenten los segundos, ó en otros términos, reducir el peso de *b c d a - b c d' a'* (que es una de las fuerzas exteriores), ó acrecer el de *a d g e - a' d' g' e'*; y para alcanzarlo, disminuir el espesor ó emplear más ligeros materiales en las porciones superiores, ó aumentar espesor á las inferiores ó adicionarles nuevas cargas. Algunas veces convendrá recurrir á los dos medios simultáneamente, y si las circunstancias especiales de la construccion no lo permitiesen, se podrian establecer medias bóvedas adosadas contra las partes inferiores; pero en este caso es preciso tener mucho cuidado de que la aplicacion de una

nueva fuerza no dé ocasion á otra manera de rotura de las indicadas en las figuras superiores de la lámina.

Hemos supuesto en todo lo que precede conocidas las posiciones de las juntas de rotura, porque la experiencia autoriza á ello en la generalidad de los casos; no obstante, cuando haya alguna razon para no acoger sin reservas esos resultados, se las determina directamente, considerando que dichas juntas son las que corresponden á los máximos de las expresiones [1], ó valor del empuje. Tambien se ha supuesto conocidas las posiciones de las aristas de giro e y e', porque en el modo de rotura considerado, esas aristas coinciden siempre con los planos de arranque de la bóveda, ó los de nacimiento de los muros que la sustentan. Además, si hemos presentado el caso de una bóveda cilíndrica, en que no hay á uno y otro lado de la clave, ni simetría geométrica, ni simetría de cargas, no ha sido otro nuestro objeto que el de dar á la solucion toda generalidad; mas casi siempre las bóvedas proyectadas son simétricas con relacion al plano vertical $b\,c$, lo cual trae como consecuencia inmediata que la direccion del empuje sea horizontal, y que las juntas de rotura se hallen al mismo nivel. Entonces, basta considerar y someter á la comprobacion una sola semibóveda.

Las fórmulas precedentes son generales.

Las fuerzas exteriores que actúan sobre las partes $b\,c\,a\,d$ y $b\,c\,a'\,d'$ han sido expresadas en las fórmulas que preceden por sus resultantes respectivas F y F'; las que obran sobre $a\,d\,e\,g$ y $a'\,d'\,e'\,g'$ por F_1 y F_1'; y las resultantes F_r y F_r' de las $F - F_1$ y $F' - F_1'$ denotan en las fórmulas generales [5] y [6] la totalidad de las fuerzas exteriores correspondientes á cada uno de los dos macizos en que la bóveda es dividida por el plano vertical $b\,c$. Y como ninguna hipótesis hemos hecho acerca de la longitud de la bóveda, ni de la direccion de las fuerzas exteriores, y nuestras fórmulas lo mismo son aplicables al caso de giro al rededor de e y e', que al de rotacion sobre $n - n'$, podemos afirmar que ellas resuelven la cuestion, en términos generales, para cualquiera bóveda cilíndrica sometida á cualquiera reunion de esfuerzos. Pero el caso frecuente en las construcciones es el de bóvedas sometidas á las acciones verticales de su peso propio, y de una carga sobrepuesta y repartida con simetría; las resultantes son entonces verticales é iguales para cada semibóveda, y siendo el empuje horizontal, las reacciones, tambien iguales, sobre las juntas de rotura a y a', son las diagonales de paralelógramos rectángulos, de bien fácil determinacion.

Mínimos espesores de los muros ó estribos.

Cuando la aplicacion de las fórmulas acusa poca resistencia en la bóveda proyectada, conviene á veces saber si la deficiencia de proporciones está en los sólidos $a\,d\,n\,o$-$a'\,d'\,n'\,o'$, ó en los muros $n\,e\,g\,o$-$n'\,e'\,g'\,o'$; y como en las desigualdades antes deducidas no se ha hecho esta distincion, cabe la duda, al hacer la correccion necesaria, de cuáles son las partes que deben ser robustecidas. Fácil es disiparla, determinando los mínimos espesores prácticos de los muros $n\,g\,e\,o$-$n'\,g'\,e'\,o'$; y para esto se establece la igualdad de momentos con relacion á $e - e'$.

E (empuje) $\times \cos\alpha$ (ángulo con la horizontal $o\,n$) $\times\, a$ (altura del muro $n\,g\,e$) $+$
$+\, F_t$ (fuerzas exteriores sobre la bóveda $b\,c\,o\,n$) $\times$ sen θ (ángulo con la ver-

$$\text{tical}) \times a = (F_b \cos\theta + E \operatorname{sen}\alpha) \times \frac{f_b + a \operatorname{sen}\theta}{\cos\theta} + a \,.\, x \ (\text{vo-}$$

$$\text{lúmen } n\,o\,g\,e) \times p \ (\text{peso unidad cúbica}) \times \frac{x}{2}.$$

Y poniendo

$$n\,q = \frac{f_b + a \operatorname{sen}\theta}{\cos\theta} = x - o\,q = x - d \ (d \text{ cantidad conocida}).$$

resulta

$$E \,.\, a \,.\, \cos\alpha + F_b \,.\, a \operatorname{sen}\theta = F_b \,.\, \cos\theta \,.\, x - F_b \,.\, \cos\theta \,.\, d +$$

$$+ E \operatorname{sen}\alpha \,.\, x - E \operatorname{sen}\alpha \,.\, d + a \,.\, p \,.\, \frac{x^2}{2};$$

de donde se deduce

$$x = -\frac{F_b \cos\theta + E \operatorname{sen}\alpha}{p\,a} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{(F_b \cos\theta + E \operatorname{sen}\alpha)^2}{p^2 \,.\, a^2} + \frac{2.(F_b(d\cos\theta + a \operatorname{sen}\alpha) + E(d \operatorname{sen}\alpha + a\cos\alpha))}{p \,.\, a}}$$

Y desechando la raíz negativa,

$$x = -\frac{F_b \cos\theta + E \operatorname{sen}\alpha}{p \,.\, a} +$$

$$+ \sqrt{\left(\frac{F_b \cos\theta + E \operatorname{sen}\alpha}{p \,.\, a}\right)^2 + \frac{2(F_b(d\cos\theta + a \operatorname{sen}\alpha) + E(d \operatorname{sen}\alpha + a\cos\alpha))}{p \,.\, a}}$$

será la condicion de equilibrio estático. Por consiguiente, para la estabilidad práctica será preciso que x sea mayor que el segundo miembro, con intervencion del coeficiente de estabilidad (1,20). Observemos que todas las cantidades que entran en la expresion del valor de x son conocidas, y que si, como casi siempre acontece en la práctica, la bóveda es simétrica y simétricamente cargada, el empuje E es horizontal y la resultante F_b vertical; y entonces

$$\alpha = 0 \text{ y } \theta = 0; \cos\alpha = 1 \ldots \cos\theta = 1 \ldots \operatorname{sen}\theta = 0 \ldots \operatorname{sen}\alpha = 0.$$

La expresion precedente, modificada por el coeficiente de estabilidad, será

$$[7] \quad x > \acute{o} = \sqrt{\left(\frac{F_b}{p \,.\, a}\right)^2 + \frac{2\,(E\,a + F_b \,.\, d)}{p \,.\, a}} - \frac{F_b}{p \,.\, a},$$

$$x > \acute{o} = \sqrt{\left(\frac{F_b}{p \,.\, a}\right)^2 + \frac{2\,E \times 1{,}20}{p} + \frac{2\,F_b \,.\, d}{p \,.\, a}} - \frac{F_b}{p \,.\, a}.$$

Y como la altura a del muro $n\,o\,g\,e$ es, en general, muy grande con relacion á los numeradores de las fracciones que la contienen en denominador, se podrá prescindir de esos términos fraccionarios, por muy pequeños, y entonces será con mayor razon

$$[8] \quad x > \acute{o} = \sqrt{\frac{2\,E \times 1{,}20}{p}},$$

cuya determinacion es tambien aplicable al otro muro $n'\,g'\,e'$.

Estas expresiones hacen ver que, si bien los espesores de los muros que sostienen las bóvedas, que vamos considerando, varian con su altura, sus valores mínimos no crecen en *proporcion* del aumento de esta, sino segun una ley tanto ménos progresiva cuanto más elevado esté el arranque de las bóvedas sobre el suelo ó base de los muros. Esta conclusion, que es de grande importancia para el arte, está plenamente justificada por la fórmula [7]; y á mayor abundamiento, la destacaria de un modo más visible aún el desarrollo en série de dicha expresion. En adelante llamarémos *estribos* á los muros $n\,o\,g\,e$-$n'\,o'\,g'\,e'$.

El segundo modo de rotura tiene lugar cuando el máximo valor del empuje determina el resbalamiento de los macizos $b\,c\,o\,n$-$b\,c\,o'\,n'$ sobre los planos $o\,n$-$o'\,n'$ de arranque, ó de los $b\,c\,g\,e$-$b\,c\,g'\,e'$ sobre los planos de asiento $g\,e$-$g'\,e'$. Para que este movimiento de traslacion no tenga efecto, es preciso que el empuje, ó su componente paralela al plano de resbalamiento sea, lo más, igual á la resistencia pasiva del rozamiento ocasionado por la presion normal de la bóveda sobre el plano del arranque, ó del macizo entero sobre el plano de la base, como á continuacion se expresa en términos generales:

1.° Para el resbalamiento sobre el plano de la base

$$E\,\text{(empuje)} \times \cos\alpha\,\text{(ángulo con el plano horizontal } g\,e.) + F_b\,\text{(fuerzas exteriores en } b\,c\,o\,n) \times \text{sen}\,\theta\,\text{(ángulo con la vertical)} = (E\,\text{sen}\,\alpha + F_b \cos\theta + a\,\text{(altura del muro } n\,g\,e) \times x\,\text{(espesor)} \times p\,\text{(peso unidad cúbica)}) \times \text{coeficiente de rozamiento},$$

ó bien para las dos partes, á derecha é izquierda del plano vertical $b\,c$.

$$[9]\begin{cases} E\cos\alpha + F_b\,\text{sen}\,\theta = (-E\,\text{sen}\,\alpha + F_b\cos\theta + a\,.\,x\,.\,p) \times \text{coeficiente de rozamiento.} \\ E\cos\alpha + F_b'\,\text{sen}\,\theta' = (E\,\text{sen}\,\alpha + F_b'\cos\theta' + a'.\,x'.\,p) \times \text{coeficiente de rozamiento.} \end{cases}$$

Cuyas expresiones indican el equilibrio práctico, ó en otros términos, que el límite superior del primer miembro es el valor dado por el segundo.

Si la bóveda es simétrica, y por tanto el empuje horizontal, la carga tambien simétrica, la resultante $F_b = F_b'$ vertical, las condiciones [9] serán una misma de la forma siguiente:

$$[10] \quad E < \text{ó} = (F_b + s\,.\,p)\ \text{coeficiente de rozamiento.}$$

Es el caso más frecuente: s indica la superficie de seccion vertical del estribo, cualquiera que sea su forma.

2.° Para el resbalamiento sobre el plano de arranque

$$E\,.\cos(\alpha - \beta\,\text{(ángulo del plano de arranque con la horizontal)}) + F_b\,.\,\text{sen}\,(\theta - \beta) = (E \times \text{sen} \pm (\alpha - \beta) + F_b\cos(\theta - \beta)) \times \text{coeficiente de rozamiento;}$$

ó bien para ambas partes

$$[11]\left\{\begin{array}{l} E\cos(\alpha-\beta)+F_b\,\text{sen}\,(\theta-\beta)=\left(E\,\text{sen}\pm(\alpha-\beta)+\right.\\ \left.\quad+F_b\cos(\theta-\beta)\right)\times\text{coeficiente de rozamiento.}\\ E.\cos(\alpha+\beta')+F_b'\,\text{sen}\,(\theta'-\beta')=\left(E\,\text{sen}\,(\alpha+\beta')+\right.\\ \left.\quad+F_b'\cos(\theta'-\beta')\right)\times\text{coeficiente de rozamiento.}\end{array}\right.$$

. . . .

Cuyas expresiones indican, como las [9], valores límites.

Para la bóveda simétrica y arranques igualmente inclinados,

$$\alpha=0\ldots.\ \beta=\beta'\ldots.\ \theta=0\ \ldots.\ F_b=F''_b.$$

$$[12]\quad E\cos\beta+F_b\times\text{sen}\,(-\beta)<(E\,\text{sen}\,\beta+F_b\cos\beta)\times\text{coeficiente de rozamiento}\ldots.$$

Y si el arranque es horizontal... $\beta=0$.

$$[13]\quad E<F_b\times\text{coeficiente de rozamiento.}$$

Son los casos más frecuentes.

Los demás modos de rotura son raros; pero si se quisiera establecer las respectivas condiciones de equilibrio, no habria para ello dificultad. Así, por ejemplo, si se teme el resbalamiento sobre el plano de una junta que no sea la de arranque, las mismas expresiones [11] y [12] serán aplicables á dicho caso, dando á las cantidades

$$F'_b\ldots.\ \beta\ldots.\ \theta\ldots.\quad \text{y}\quad F''_b\ldots.\ \beta'\ldots.\ \theta'$$

los valores correspondientes. Si como se puede temer en las

bóvedas peraltadas y ojivales, el modo de rotura considerado fuese el inverso del primero, entonces tendiendo las porciones *a d o n - a' d' o' n'* ó *a d g e - a' d' g' e'* á girar alrededor de *d - d'* hácia fuera, la junta de clave se abrirá por el trasdós, y las de rotura por el intradós; y las condiciones para el equilibrio serian

$$E\,(\text{empuje aplicado en } c)\times\varepsilon\,(\text{brazo de palanca con relacion al punto } d)=$$
$$=F\,(\text{fuerzas exteriores en } b\,c\,a\,d)\times\varphi\,(\text{brazo de palanca con relacion á } d)\ldots$$

y otra análoga para la izquierda, ó

$$E=E'=\frac{F\varphi}{\varepsilon}=\frac{F'\varphi'}{\varepsilon'}\quad »\quad\ldots.$$

La razon $\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$... determina la direccion de E....

Determinado el empuje en intensidad y direccion, las ecuaciones serian

$$E\times e_b\,(\text{brazo de palanca con rolacion á } 0)=F_b\,(\text{fuerzas exteriores en } b\,c\,o\,n)\times$$
$$\times f_b\,(\text{brazo de palanca con relacion á } 0),$$

y otra análoga para la izquierda, ó

$$[13]\quad E\times e_b>\text{ ó }=F_b\times f_b\ldots.E\times e'_b>\text{ ó }=F'_b\times f'_b\ldots.$$

para el giro alrededor de $0\ldots.\ 0'\ldots.$

$$[14]\quad E\times e_r>\text{ ó }=F_r\times f_r\ldots.E\times e'_r>\text{ ó }=F'_r\times f'_r\ldots.$$

para el giro alrededor de $g\ldots.\ g'$.

En el caso de simetría de forma y de carga bastan las dos primeras ecuaciones [13] y [14]. Para la estabilidad práctica se hará intervenir en las fórmulas el coeficiente de estabilidad (1,20).

Si las proporciones proyectadas no permiten satisfacer estas desigualdades, se rectificará el proyecto, aumentando carga en la parte superior hácia la clave, ó lo que parece mejor, haciendo crucetas en las primeras hiladas y aumentando en proporcion el espesor de los muros hácia el exterior.

Tambien podria ocurrir en esta clase de bóvedas la rotura por resbalamiento de las porciones *bcad* - *bca'd'* hácia fuera. Las condiciones de equilibrio serian establecidas por medios análogos á los que han servido de base para determinar las [11], [12] y [13].

Todos estos cálculos son muy sencillos; y lo único que puede hacerlos, si no difíciles, enojosos y pesados, es la determinacion, por el cálculo, de las resultantes $F F'$.... $F_{,} F_{,}'$.... $F_{b} F'_{b}$.... $F_{r} F'_{r}$, y de sus respectivos brazos de palanca $\varphi \varphi'$.... $\varphi_{,} \varphi_{,}'$....$f_{b} f'_{b}$....$f_{r} f'_{r}$. Y aunque casi siempre, en las aplicaciones, el problema se reduce á la composicion de fuerzas verticales, y esto produce una simplificacion considerable, se prefiere, no obstante, apelar para dicha determinacion á procedimientos gráficos. Pero el problema de mecánica que acabamos de enseñar á resolver, supone que existe ya la bóveda en proyecto con formas y proporciones determinadas. Ocurre, pues, desde luego preguntar: ¿cuáles son los preceptos que deben guiar al ingeniero ó arquitecto en el trazado *prévio* de su proyecto? De este punto interesante vamos á ocuparnos.

Preceptos para proyectar las bóvedas. Reglas y fórmulas empíricas.

Son esos preceptos hijos de una larga experiencia, y están traducidos en fórmulas algebráicas y gráficas, unas y otras empíricas.

Espesor en la clave.

Primeramente: el espesor de la bóveda en la clave se determina por las expresiones siguientes:

(Perronnet). $e = 0{,}33 + \frac{r}{15}$..
r.... es el radio = semiluz en las bóvedas de medio punto....
el radio de la circunferencia á que pertenece el arco en las escarzanas....
el radio del arco de la clave en las carpaneles....
el de curvatura superior en las de seccion elíptica....

(Leveillé)... $e = 0{,}33 + \frac{1}{30} D$..
D.... es la luz ó abertura de la seccion en todas las formas; medio punto, escarzana, carpanel y elíptica.

(Tomada de Collignon) $e = 0{,}43 + \frac{r}{10} + \frac{R}{50}$.
r..... como en la fórmula de Perronnet....
R.... altura de la carga sobre el trasdós en la clave.

(Vauban)... $e = \frac{1}{2} \sqrt{r}$.....
para las bóvedas á prueba de bomba....
r.... es la semiluz....

Como se vé, sólo la tercera de estas fórmulas es completa.

El radio de los arcos escarzanos en funcion de la luz D y de la montea m es:

$$r = \frac{1}{2} m + \frac{1}{8} \frac{D^2}{m} \ldots.$$

y el de curvatura de los elípticos, á los cuales se pueden asimilar los carpaneles, es:

$$r = \frac{D^2}{4f} \cdots\cdots \quad \begin{cases} D \ldots \text{luz.} \\ f \ldots \text{flecha.} \end{cases}$$

Al fin de esta leccion se ha dado cabida á unas tablas cuyo uso puede en muchos casos dispensar de la aplicacion de las fórmulas.

Estribos.

Segundo: el espesor del muro ó estribo se deduce de las fórmulas siguientes:

(Leveillé)....

$$x = (0{,}33 + 0{,}212D) \cdot \sqrt{\frac{\frac{A}{C}}{\frac{m+e}{D}}} \quad \text{para las bóvedas escarzanas.}$$

$$x = (0{,}30 + 0{,}162D) \sqrt{\frac{\frac{A+\frac{1}{4}D}{C}}{\frac{e+\frac{1}{4}D}{0{,}865 \cdot D}}} \quad \text{para las de medio punto...} \quad m = \tfrac{1}{2} D.$$

D... luz de la bóveda.
A... altura del estribo.
C... altura de la carga sobre la base del estribo.
m... montea.
e... espesor en la clave.

Tomada de Collignon...

$$x = 0{,}305 + \frac{D}{8}\left(\frac{3D - m}{D + m}\right) + \frac{A}{6} + \frac{R}{12} \cdots \quad \text{para todas las rebajadas.....}$$

$$x = 0{,}305 + \tfrac{5}{24} D + \frac{A}{6} + \frac{R}{12} \cdots \quad \text{para las de medio punto.}$$

R... altura de la carga sobre el trasdós en la clave.
Las demás letras como en la fórmula de Leveillé.

(Roy)...

$$x = 0{,}2 + 0{,}3\left(\tfrac{1}{2} D + 2e\right) \ldots \quad \text{para las de medio punto y rebajadas.}$$

$$x = 0{,}2 + 0{,}3\left(\tfrac{1}{4} D + 2e\right) \ldots \quad \text{para las de seccion ojival.}$$

$D = 2r$... r... radio del medio punto ó del escarzano, ó el superior de curvatura en la seccion elíptica.

Las tablas citadas permiten tambien determinar el valor

de x en muchos casos, sin necesidad de acudir á las fórmulas.

Trasdós.

Tercero: el trasdós de la bóveda puede ser plano (de nivel), ó de dos planos inclinados, ó curvo, y en este caso, de igual espesor, ó de desigual espesor.

En el primer caso, el trazado del trasdós está desde luego indicado, cualquiera que sea la curva del intradós.

En el segundo, la inclinacion de los planos se fija por consideraciones particulares que proceden del objeto de la obra. Así, cuando el trasdós ha de formar cubierta, bastará y hasta convendrá que la pendiente sea no más que la precisa para que las aguas corran con facilidad. Algunas veces se exagera la inclinacion llevándola hasta 45° y aún más; y esto sólo se puede admitir cuando razones muy imperiosas lo exijan, porque el cubo de mampostería de los estribos crece extraordinariamente. En general, estas proporciones son impuestas por consideraciones defensivas para resistir la accion de los fuegos curvos de artillería, y están subordinadas á los preceptos del arte militar.

En el tercer caso, es decir, el de trasdós curvo, si es la bóveda de igual espesor, no hay más que trazar una línea paralela á la de intradós á la distancia dada por el espesor en la clave. Esta forma no parece estar acorde con la que exigen las condiciones prácticas del equilibrio, á ménos de admitir excesivo volúmen y gasto de mampostería. Pero si la bóveda ha de afectar las formas indicadas por la teoría y sancionadas por una larga experiencia, ya que la *curva-tipo* para la estabilidad necesaria y suficiente no puede ser adoptada, si es conocida, convendrá acercarse lo más posible, en

la curva de trasdós, al trazado de la conchóide, y para eso basta proceder como sigue.

Tómese, á partir del punto más alto del intradós hácia arriba el espesor e en la clave, y hácia abajo una magnitud igual á $r + \frac{3}{4} r$; desde el punto inferior así determinado en el eje vertical de la bóveda, con un radio igual á $r + \frac{3}{4} r + e$, trácese un arco de círculo que será la curva de trasdós. En las bóvedas de medio punto y escarzanas, r es el radio del intradós circular; en las carpaneles y de seccion elíptica es el radio medio de curvatura. En las primeras, sin embargo, se usa bastante el método gráfico de la figura II.

L. 16[2], figura II.

La curva de trasdós se termina casi siempre en la vertical del paramento interior del estribo en las bóvedas que cubren salas y naves; pero en otras aplicaciones, los ingenieros la prolongan hasta la vertical del paramento exterior, ó hasta una intermedia, formando crucetas horizontales en las dovelas próximas á los arranques; siendo en este último caso conveniente no exagerar la extension horizontal, por la dificultad, ó más bien, la imposibilidad práctica de un asiento uniforme.

Rectificaciones.

Por estos medios traza el arquitecto en su proyecto los perfiles de las bóvedas; y la aplicacion de las fórmulas antes deducidas le hace comprender si es ó no preciso alterar las proporciones proyectadas. Así, determinado el empuje en la clave, y admitiendo que en el caso más general la presion (1) está aplicada en el tercio superior de la junta de clave, su

(1) Más adelante explicarémos con mayor detalle lo relativo á reparticion de una presion normal sobre las superficies de junta.

intensidad no deberá exceder de la resistencia de la piedra; por tanto, si se valora la resistencia total límite que pueda presentar prácticamente la junta de clave en toda su altura, y se establece la igualdad de momentos, con relacion á la arista de rotura, de esa fuerza pasiva y de las activas exteriores sobre el macizo superior á dicha arista, todo en esa igualdad será conocido ménos la altura de la junta, es decir, el espesor de clave; despejando, pues, su valor, se le podrá considerar como tipo más aproximado que el dado por las fórmulas empíricas, y se deberá modificar éste de la manera más conveniente. El espesor del estribo será rectificado por medio de la fórmula [8], en el caso de considerar el primer modo de rotura; y en los demás casos, las otras fórmulas explicadas servirán para dicho objeto.

Piés derechos.

Es preciso, sin embargo, distinguir lo que es *estribo* de lo que es *pié derecho* ó *pila*. Al primero ya hemos explicado las proporciones que se debe darle, y nada tenemos que añadir; pero si, por disposiciones especiales, ese muro se halla sometido á la accion mediata ó inmediata de una ó varias fuerzas exteriores opuestas á la horizontal que sobre él actúa procedente de la bóveda que sustenta, será permitido reducir su espesor á lo necesario para resistir á la resultante horizontal, que es nula cuando aquellas fuerzas son de igual intensidad; entonces el muro se llama *pié derecho* ó *pila*. Ya tendrémos ocasion de hacer indicaciones sobre los casos en que conviene adoptar tales recursos.

El método expuesto, sencillo y eficaz, adolece de un defecto que le hace inferior á otros más modernos; ese defecto está en la enojosa determinacion que requiere de áreas y

centros de gravedad de superficies irregulares por el cálculo. Vamos, pues, á estudiar otros procedimientos gráficos, sencillos, expeditos y muy ingeniosos, que presentan todo el rigor y toda la exactitud á que aspira el arquitecto en las aplicaciones.

Curvas de presiones. L. 16[2], figura III.

Conocidas la direccion é intensidad del empuje en la clave por el medio anteriormente explicado, si su punto de aplicacion fuera tambien determinado, seria siempre posible obtener con suma sencillez la resultante, en intensidad y posicion, de dicho empuje y de las fuerzas exteriores conocidas que actúan sobre la primera dovela á partir de la clave; esa resultante seria la presion ejercida sobre la superficie de junta entre la primera y la segunda. Componiendo dicha presion con las fuerzas exteriores que obran sobre la segunda dovela, se obtendria la presion ejercida en la superficie de junta entre la segunda y tercera piedra. Del mismo modo seria posible continuar determinando las presiones sobre las demás juntas hasta la de arranque, y aún si se quisiera, hasta la base del estribo. La reunion de todas esas presiones constituye un polígono de tantos lados como dovelas encierra la bóveda; y el límite de ese polígono, correspondiente á un número de divisiones suficientemente grande, es la *curva de presiones*, llamándose *centros de presiones* las intersecciones de estas con las superficies de junta. Por medio del trazado de esta curva se puede comprobar cada una de las condiciones precisas y bastantes para la estabilidad de las bóvedas cilíndricas.

Pero adviértase que primero hemos supuesto conocidas la direccion é intensidad del empuje en la clave, y además

su punto de aplicacion. Ambas suposiciones son datos ciertos y absolutos en el caso del equilibrio estático, porque entonces el punto de máxima presion en la clave está en el trasdós *b* (figura I), y en la junta de rotura está en *a-a'*; mas como se trata de una bóveda proyectada con condiciones de estabilidad práctica, se concibe que es en cierto modo arbitraria la determinacion *á priori* del centro de presion sobre una superficie de junta cualquiera (del arranque por ejemplo), y del punto en que se aplique el empuje en la clave. Y es indispensable hacer estas dos hipótesis, porque, sin la primera, la direccion é intensidad del empuje serian indeterminadas, y sin la segunda, seria imposible fijar su posicion. Aquí está la verdadera dificultad del problema de la estabilidad práctica de las bóvedas; la ciencia parece no haber puesto todavía al alcance del arquitecto ó ingeniero procedimientos sencillos para salvar la indeterminacion señalada de una manera rigorosa; y así, para limitar y circunscribir en lo posible aquella arbitrariedad, se acude á la experiencia, la cual enseña que el centro de presion sobre la junta de arranque debe ser tomado entre su punto medio y el tercio interior, y que el punto de aplicacion del empuje debe suponerse en el tercio superior de la junta de clave. Además, no se olvide que siempre es preciso corregir y rectificar *á posteriori* cualquiera error cometido en la eleccion arbitraria que se tome como punto de partida. L. 16[2], figura I.

Giro ó rotacion.

Si la curva de las presiones está encerrada dentro del macizo de la bóveda y de sus estribos, habrá estabilidad suficiente ó sobrada contra toda tendencia á girar; en el caso contrario no resistirá la bóveda. Efectivamente, si la presion

resultante de las acciones trasmitidas de una á otra dovela se encontrase fuera de los límites de la superficie de junta, habria compresiones negativas, es decir, tensiones, que un macizo de mampostería no puede resistir sin desunion de sus elementos, ó en otros términos, sin aberturas entre las dovelas. La curva de las presiones debe, pues, estar comprendida toda ella entre los contornos de la bóveda y sus estribos.

Resbalamiento.

La presion ejercida en cada junta será la tangente á la curva en el punto de interseccion; y el ángulo que dicha tangente forme con la direccion de la junta será generalmente oblícuo. De las dos componentes de esa fuerza, una, paralela á la junta, tiende á hacer correr ó resbalar sobre ella el macizo superior; la otra, normal, produce un rozamiento que corresponde á los materiales considerados. Para que no haya, pues, resbalamiento, es preciso que la primera componente sea inferior al rozamiento debido á la segunda, es decir, que el ángulo de la curva (ó de su tangente) con cada junta sea siempre mayor que el complemento del ángulo de rozamiento para el material con que se haya de construir la bóveda.

Rotura de aristas por presion. L. 16(*), figura IV.

Los centros de presion en cada junta estarán más ó ménos distantes de las aristas de intradós y de trasdós, que limitan las superficies de contacto, en general rectangulares y planas. Claro es que si el centro de presion coincidiese con el de gravedad del rectángulo, la presion se repartiria con absoluta igualdad en toda la superficie, y todas las aristas de cada dovela estarian en iguales condiciones para resistir á la fractura. Pero en el caso general, el punto de interseccion de la curva con una junta cualquiera estará más próximo á una ú otra de las aristas de intradós y de trasdós, y es preciso averiguar si la proximidad es tanta, que las aristas puedan estallar. En la ignorancia de las leyes físicas, y la indeterminacion de las analíticas que regulan la distribucion de una presion sobre todos los elementos de una superficie, se admite en las aplicaciones, que su intensidad varía segun las ordenadas positivas (1) de un plano, cuya posicion se fija determinando los valores de las tres constantes de la funcion lineal que lo representa. En el presente caso la superficie es una junta plana rectangular y la presion normal considerada en el plano vertical de simetría (seccion recta de la bóveda) se distribuirá en su traza, segun la misma ley de variacion de las ordenadas, pero con la gran simplificacion á que dá lugar la reduccion del macizo á su seccion recta, en la cual los ejes coordenados se reducen á dos, y los planos á sus trazas. Se demuestra en mecánica que la ley de variacion de las presiones bajo las hipótesis establecidas es la siguiente:

$$P_x \text{ (presion en un punto de abscisa } x \text{ en el eje)} =$$

$$= \frac{P \text{ (presion ejercida)}}{l \text{ (longitud del rectángulo)}} \left(1 + \frac{3x \times d \text{ (distancia del centro al punto de aplicacion de } P)}{\left(\frac{1}{2}\, l\right)^2}\right)$$

$$\text{y (ordenada)} = P_x = \frac{P}{l}\left(1 + \frac{3x.d}{\frac{1}{4}\, l^2}\right) \ldots \left\{ \text{ecuacion general de la traza del plano hipotético.} \right.$$

(1) Ya hemos dicho que no son admisibles las presiones negativas.

En primer lugar el valor de $y=P_x$ sólo puede ser positivo; por tanto

1.° Si

$$d=\frac{1}{3}\left(\frac{1}{2}l\right)=CP\ldots P_x=\frac{P}{l}\left(\frac{l+2x}{l}\right)\begin{cases} x=-\frac{1}{2}l=CO\ldots P_x=0 & \text{en el punto } O\\ x=0\ldots P_x=\frac{P}{l}\ldots\ldots & \text{presion media en } C.\\ x=\frac{1}{2}l=CY\ldots P_x=\frac{2P}{l}\ldots & \text{presion máxima en } Y.\end{cases}$$

2.° Si

$$d<\frac{1}{3}\left(\frac{1}{2}l\right)\ldots CP'\ldots P_x>0\begin{cases} x=-\frac{1}{2}l=CO\ldots P_x=\frac{P}{l}\left(1-\frac{3d}{\frac{1}{2}l}\right) & \text{presion mínima en } O.\\ x=0\ldots P_x=\frac{P}{l}\ldots\ldots\ldots\ldots & \text{presion media en } C.\\ x=\frac{1}{2}l=CY\ldots P_x=\frac{P}{l}\left(1+\frac{3d}{\frac{1}{2}l}\right)<\frac{2P}{l} & \text{máxima en } Y.\end{cases}$$

3.° Si

$$d>\frac{1}{3}\left(\frac{1}{2}l\right)\ldots CP''\ldots P_x\gtrless 0\begin{cases} x=-\frac{1}{2}l=CO\ldots P_x=\frac{P}{l}\left(1-\frac{3d}{\frac{1}{2}l}\right)\ldots & \text{negativa en } O\text{, inadmisible.}\\ x=-\frac{\left(\frac{1}{2}l\right)^2}{3d}=CO'\ldots P_x=0\ldots\ldots & \text{mínima en } O'.\\ x=\frac{1}{4}l-\frac{\left(\frac{1}{2}l\right)^2}{6d}=Cp''\ldots P_x=\frac{P}{l}\left(\frac{1}{2}+\frac{3d}{l}\right) & \text{presion media en } p''.\\ x=\frac{1}{2}l=CY\ldots P_x=\frac{P}{l}\left(1+\frac{3d}{\frac{1}{2}l}\right). & \text{presion máxima en } Y \text{ doble de la media en } p''.\end{cases}$$

Los valores de P_x correspondientes á la presion máxima en la arista más próxima al punto de aplicacion, que en cada

junta es su interseccion con la curva de presiones, se escriben bajo una forma más cómoda, poniendo d en funcion de la distancia $YP\ldots YP'\ldots YP''$ en cada uno de los tres casos:

1.° $d=CP=\frac{1}{2}l-YP=\frac{1}{2}l-\delta\ldots$

2.° $d=CP'=\frac{1}{2}l-YP'=\frac{1}{2}l-\delta\ldots$

3.° $d=CP''=\frac{1}{2}l-\delta\ldots$

Y los valores de la presion máxima... los siguientes:

1.° $P_x=\frac{2P}{l}\ldots\delta=\frac{1}{3}l\ldots l=3\delta\ldots P_x=\frac{2P}{3\delta}.$

2.° $P_x=\frac{P}{l}\left(1+\frac{3\left(\frac{1}{2}l-\delta\right)}{\frac{1}{2}l}\right)\ldots\delta>\frac{1}{3}l\ldots P_x=\frac{2P(2l-3\delta)}{l^2}<\frac{2P}{l}<\frac{2P}{3\delta}$

3.° $P_x=\frac{P}{l}\left(1+\frac{3\left(\frac{1}{2}l-\delta\right)}{\frac{1}{2}l}\right)\ldots\delta<\frac{1}{3}l\ldots P_x=2P\frac{2l-3\delta}{l^2}.$

Es, por consiguiente, necesario que en cualquiera de los tres casos el valor máximo dado por estas fórmulas no exceda del *número práctico* que indica la resistencia del material empleado $\left(\frac{1}{10}\right.$ de la carga que produce la rotura$\left.\right)$. Así se deberá hacer esta comprobacion por medio de la curva de presiones, determinando las componentes normales á cada junta, y midiendo las distancias de su punto de aplicacion

á la arista más próxima, con cuyos datos es fácil aplicar las anteriores fórmulas.

Condiciones necesarias y suficientes.

Resumiendo todas las consideraciones precedentes, dirémos, como conclusion, que, trazada la curva de presiones, es preciso y basta para asegurar la estabilidad práctica de una bóveda cilíndrica:

1.° Que la curva esté contenida entre las líneas que limitan el macizo.

2.° Que el ángulo de las presiones sobre cada junta con la direccion de estas sea siempre mayor que el complemento del ángulo de rozamiento.

3.° Que las distancias de los centros de presion á las aristas más próximas sean tales que los valores máximos de la presion en ellas ejercida no excedan de los límites prácticos de la resistencia del material.

En la práctica es muy raro que la sola inspeccion de la curva no baste para comprobar la estabilidad, porque la primera condicion, que se manifiesta á la vista, trae consigo generalmente la segunda, en virtud de la práctica comun de trazar las juntas normales al intradós; y en cuanto á la tercera, sólo se necesitará aplicarla á las juntas de rotura, y áun en estas, á excepcion de muy raros casos, se podrá excusar el uso de las fórmulas. Como además el trazado de la curva acusa desde luego el exceso de resistencia y de material, si lo hay, se podrá siempre reducir las dimensiones á lo preciso para la estabilidad.

L. 16(2), figura III.
Curvas de los centros de presion.

No nos detendrémos en determinar por el análisis las relaciones que existen entre la curva de presiones, límite del polígono formado por las resultantes 1-2 .... 2-3 .... 3-4 ....

4-5 .... y la curva de los centros de presion, límite de otro polígono cuyos vértices son los puntos 2′ .... 3′ .... 4′ .... Son dos curvas diferentes en general; pero podrian ser una misma, mediante una division de la bóveda en dovelas ficticias por planos verticales, en la hipótesis de ser, como casi siempre ocurre, verticales las fuerzas que sobre ella actúan, porque entonces se demuestra que la curva de los centros de presion tiene por tangentes las resultantes que constituyen los lados del otro polígono, es decir, los elementos de la curvas de presiones: ambas curvas se confunden en una sola (1). Esta identidad ha sugerido un método que en algunos casos puede ser sencillo. Divídase la bóveda por juntas verticales; dedúzcase la ecuacion de la curva de los centros de presion; trácese por puntos dicha curva, y determínese, finalmente, las direcciones de las juntas reales de modo que formen con las tangentes á aquella ángulos, lo ménos, iguales al complemento del de rozamiento. Tal método, aunque no rigoroso, puede bastar, y ahorra el trabajo enfadoso de la determinacion de superficies y centros de gravedad.

Haciendo variar los tres puntos de paso de la curva por la junta de clave y las de los arranques, se obtendrán diferentes trazados, entre los cuales habrá uno tangente al intradós: el punto de contacto determina la junta de rotura.

Centros de gravedad y de figura de las juntas.

Se comprende fácilmente que si la forma y las proporciones de la bóveda fuesen tales, que los centros de presion coincidiesen con los de gravedad en cada junta, y que, siendo

(1) Esta propiedad es más general; y se verifica siempre que las fuerzas son paralelas, y las juntas ficticias se escogen en su misma direccion.

estas rectangulares, viniesen á ser á la vez sus centros de figura, las circunstancias de tal bóveda serian sin duda las más favorables á la máxima estabilidad con el mínimum de macizo. La resolucion de este problema parece teóricamente alcanzada por el procedimiento de Ivon Villarceau; pero las deformaciones y asientos, no uniformes, de la obra despues de descimbrar, modifican las formas establecidas *á priori*, y cambian las condiciones de la construccion. En la imposibilidad de someter á los rigorosos procedimientos del cálculo esos efectos de suyo inciertos y variables, se han ideado medios de atenuar en lo posible los inconvenientes que ofrece. El ilustre ingeniero español Sr. Saavedra ha hecho sobre esta materia estudios especiales muy dignos de consultarse, y que han sido publicados por la *Revista de Obras públicas*.

Hemos explicado que la determinacion de la curva de presiones no podia ser exacta sino valiéndose de la eleccion, en cierto modo arbitraria, de tres puntos de ella. Se comprende, sin embargo, la posibilidad de establecer gráficamente la expresion de una ley que, excusando el trazado práctico de las curvas de presiones, proporcione todos los elementos precisos para comprobar la estabilidad de la bóveda. Nos parece que estos métodos son más sencillos de comprenderse que fáciles de practicarse, porque, despues de todo, no ahorran otro trabajo que el de delinear la curva, y crean en cambio otras nuevas operaciones gráficas delicadas. Creemos, pues, que el procedimiento más expedito es el de dividir la bóveda por juntas verticales ficticias, y simplificar así el trazado de la curva de los centros de presion, que, bajo esta hipótesis, ya hemos dicho que coincide con la de presio-

nes; determinar, finalmente, las direcciones de las juntas reales, de modo que el ángulo que formen con la tangente, guarde con el de rozamiento las relaciones que antes hemos consignado para evitar el resbalamiento.

A continuacion ponemos un ejemplo que indica la marcha que se debe seguir en las aplicaciones. Ejemplos.

Se ha proyectado una bóveda escarzana, cuya luz es 12 metros, su montea ó flecha es $1^m,20$. El radio del arco resulta ser $15^m,60$. La bóveda lleva una carga adicional que es la producida por un relleno de mampostería de hormigon, terminado por un plano horizontal superior á $0^m,25$ sobre el trasdós en la clave (cuya distancia equivale próximamente á $0^m,50$ si la carga fuera de tierra). L. 16(2), figuras V y VI.

Con estos datos, la fórmula de Perronnet dá para espesor en la clave. . .	$1^m,37$	Se ha tomado $1^m,37$.
La de Leveillé..	$0^m,73$	
Y la más completa, que tiene en cuenta la carga adicional.	$2^m,00$	

Los espesores de estribos dados por las fórmulas empíricas, son:

Por la de Leveillé para escarzanas..	$5^m,022$	Se ha supuesto la altura del estribo 6^m.
Por la fórmula tomada de Collignon	$5^m,285$	
Por la de Roy.	$5^m,702$	

La forma del trasdós se ha obtenido trazando un arco de círculo con un radio $= \frac{7}{4} r + c = 28^m,67$ ($c =$ espesor en la clave).

De manera que la bóveda proyectada es la de las figuras V y VI:

Luz $= D = 12^m$ .... Montea $= m = 1^m,20$.

Radio del intradós $= 15^m,60$ .... Radio del trasdós $= 28^m,67$.

Espesor en la clave $= c = 1^m,37$ ..... Espesor del estribo $x = 5^m$.

Altura de los estribos $= 6^m$ .... Altura de la carga adicional sobre el trasdós en la clave $= 0^m,25$ (mampostería de hormigon).

Se considera la bóveda reducida á la unidad lineal en sentido de la longitud; así, la superficie calculada para la seccion que representa la figura es, á la vez, el valor del volúmen del macizo que vamos á someter á la comprobacion. (L. 16[2], figura.) Pero, ante todo, es preciso hacerlo homogéneo, es decir, reemplazar la carga de hormigon por su equivalente de mampostería de sillares, que es el material de la bóveda. La primera es $12^{m2},48$ y su peso $12,48 \times 2360^k = 29452^k$, y la segunda es $\frac{29452}{2700} = 10^{m2},90$. Luego la superficie de la carga adicional se ha de disminuir en $12^{m2},48 - 10^{m2},90 = 1^{m2},58$ para considerar el macizo homogéneo, lo que se expresa en la figura, bajando el nivel de la carga en $0^m,175$.

Primer método. Superficie total de bóveda y carga adicional $= 18^{m2},16$. Su peso $18^{m3},16 \times 2700^k = 49092^k$.

Primer caso. Giro. Considerarémos primeramente el espesor del estribo $= 5$ metros, deducido de las fórmulas empíricas (con alguna reduccion).

Empuje. $E = \frac{F\,\varphi}{\varepsilon} = \frac{49092 \times 1.20}{1.20 + 1.37} = 22922^k$.... Fórmula 1.ª

$F = 49092^k$.... $\varphi = 1^m,20$.... $\varepsilon = m + e = 1^m,20 + 1^m,37$....

Peso de un estribo $= F_{,} = 33^{m3},85 \times 2700^k = 91395^k$....

$\varphi_{,} = 2^m,45$.... $F_{,}\,\varphi_{,} = 91395^k \times 2^m,45 =$ momento de $F_{,}$....

$$F_r = F + F_{,} = 140487^k \text{....} f = 3^m,80 \text{....}$$

$$F_r f = 140487^k \times 3^m,80 = \text{momento de } F_r \text{....}$$

$$e = 6^m + 1^m,20 + 1^m,37 = \text{brazo de palanca de } E \text{....}$$

$$E \times e = 22922^k \times 8^m,57 = \text{momento de } E \text{....}$$

$$E \times e \times 1,20 < \text{ó} = F_r f \text{....}$$

$$22922 \times 8,57 \times 1,20 < \text{ó} = 140487 \times 3,80 \text{....} \qquad \text{Fórmula 5.ª}$$

$$235729,85 < 533858,60.$$

Como se vé, hay una diferencia tan notable que acusa estabilidad excesiva. Esta circunstancia se explica por dos razones: primera, que las fórmulas empíricas pecan siempre por ese extremo; y segunda, que el coeficiente 1,20 de estabilidad es de los valores más bajos que en las aplicaciones se adoptan. Apliquemos, pues, la fórmula [8], y tomemos el valor mínimo para el espesor del estribo

$$x = \sqrt{\frac{2\,E \times 1,20}{p}} = \sqrt{\frac{2 \times 22922 \times 1,20}{2700}} = 4^m,50 \text{ (próximamente)} \qquad \text{Fórmula 8.ª}$$

Y si se hace mayor el coeficiente de estabilidad, se verá que entonces la estabilidad queda comprendida entre los justos límites de una prudente economía.

Pero si pretendiéramos reducir el espesor del estribo á 3^m con el coeficiente 1,70, por ejemplo, que es muy usual, resultaria:

$F_{\prime} = 53055^{k}$ .... $F_{r} = F + F_{\prime} = 102147^{k}$ .... $f = 2^{m},80$ ....

$22922 \times 8{,}57 \times 1{,}70 <$ ó $= 102147 \times 2{,}80$ ....

$196441{,}54 \times 1{,}70 <$ ó $= 286011{,}60$ ....

ó bien

$333950{,}62 <$ ó $= 286011{,}60$ ....

La primera de estas dos últimas desigualdades hace ver que habria equilibrio si se prescindiese del coeficiente de estabilidad; y la segunda que no habria estabilidad práctica.

Segundo caso. *Resbalamiento del estribo sobre su base.*—Si el espesor es 5^{m},

$E < (F_{b} + s \cdot p) \times$ coeficiente de rozamiento ....

Fórmula 10. $F_{b} = F = 49092$ (1) .... $s \cdot p = F_{\prime} = 91395$ .... $E = 22922$ ....

$22922 < (49092 + 91395) \times 0{,}76$ .... exceso de estabilidad.

Resbalamiento de la bóveda sobre sus arranques inclinados.

Espesor de estribo = indiferente.

Fórmula 12. $E \cos \beta + F_{b} \times - \operatorname{sen} \beta < (E \operatorname{sen} \beta + F \cos \beta) \times$ coeficiente de rozamiento ....

$\beta = 18^{\circ} \ldots \begin{cases} \operatorname{sen} \beta = 0{,}31 \ldots \\ \cos \beta = 0{,}95 \ldots \end{cases}$

$22922 . 0{,}95 - 49092 . 0{,}31 < (22922 . 0{,}31 + 49092 . 0{,}95) . 0{,}76$...

$6557 . 38 < 40844 . 84$ ....

(1) Se verifica aquí que $F_{b} = F$ porque, siendo escarzana la bóveda, la junta de rotura está en el arranque.

Tambien, como se vé, resistirá la bóveda á esta última tendencia á resbalar.

Segundo método. L. 16(²), figura VI. *Aplicacion de la curva de presiones.*—Se ha seguido el procedimiento que generalmente aplican los constructores, y que supone las juntas de clave y de arranque comprimidas en toda su extension, tomando como ejemplo la mitad de la derecha de la misma bóveda escarzana, á cuya otra mitad hemos aplicado el método anterior. Para ello se ha tomado como centro de presion en la clave el que corresponde al tercio superior de la junta, y como centro de presion en el arranque, el tercio interior de la junta. Son los puntos 4 y 2. La bóveda es simétrica y está simétricamente cargada; el empuje en la clave es, pues, horizontal. Con todos estos datos, se ha procedido en el órden siguiente, despues de sustituir, como lo hemos hecho antes, á la forma de la carga adicional de mampostería de hormigon, su equivalente de sillería para hacer todo el macizo homogéneo.

1.° Division de la bóveda por planos de junta verticales ficticios, y determinacion gráfica de los centros de gravedad correspondientes á los trapecios: esta determinacion está trazada en líneas de puntos en la semibóveda de la izquierda (figura V)

2.° Determinacion de las superficies de dichos trapecios, que son de izquierda á derecha, respectivamente, $4^{m2},96$ .... $6^{m2},75$ .... $6^{m2},45$ .... Estas áreas son proporcionales á los pesos, y sus valores, para el trazado gráfico que vamos á hacer, pueden ser expresados en magnitudes lineales, que guarden con las superficiales una relacion cómoda: esto, equivaliendo á una escala gráfica para la representacion de

las fuerzas, simplifica y reduce los dibujos. Así, los valores 4,96 .... 6,75 .... 6,45 .... quedan expresados por las magnitudes verticales 2,48 .... 3,37 .... 3,22.

3.° Construccion gráfica para hallar la resultante de estas fuerzas verticales. Dicha construccion, que no es otra que la de un polígono funicular, en equilibrio, bajo la accion de las fuerzas verticales, de la arbitraria H y de la $-H'$, está figurada en los paralelógramos de puntos y el de trazos sencillos, cuya diagonal debe ser vertical (como comprobacion), y es la resultante buscada: es la F de la izquierda, por otros medios deducida.

4.° Composicion de la resultante, que se acaba de determinar, con el empuje en la clave, cuya posicion es conocida. Para ello, se ha unido el punto 2 (centro de presion en el arranque) con el punto 3, interseccion de la fuerza F, vertical, de intensidad conocida con E; se ha prolongado 2 - 3 hasta cortar á F - 1, y el triángulo 1 - F - 3 ha hecho conocer la intensidad F - 1 del empuje, así como la intensidad y posicion de la reaccion 3 - 1 sobre el arranque. Naturalmente estas magnitudes lineales, vienen expresadas en la misma escala de fuerzas antes adoptada.

5.° Paralelógramo de la fuerza vertical aplicada al centro de gravedad de la primera dovela ficticia, y el empuje; otro paralelógramo entre la diagonal del anterior y la fuerza vertical de la segunda dovela; y otro entre la segunda diagonal y el peso de la tercera dovela, que es en este caso la del arranque. La última de las diagonales, como se podia presumir, coincide con la reaccion 3 - 1 antes determinada en el arranque, lo cual constituye una útil comprobacion

del trazado. El polígono formado por las direcciones del empuje, de la primera y segunda diagonal, es el de las presiones hasta el arranque; y se debe fijar la atencion sériamente en que, cortando la tercera diagonal (la que coincide con la reaccion 3 - 1) á la segunda fuera de los límites de la tercera dovela, el centro de presion en la junta de arranque no es un punto del polígono de las presiones, y por consiguiente, en el límite, la reaccion 3 - 2 no seria la tangente á la curva de presiones en su interseccion con la junta de arranque. Esta circunstancia era tambien de presumirse, porque en la tercera dovela ya las juntas no son paralelas á las direcciones, en este caso verticales, de las fuerzas exteriores, y tal paralelismo, ya lo hemos dicho, es precisa condicion para que sean una misma la curva de las presiones, y la de los centros de presion.

6.° Paralelógramos de la tercera diagonal (que es en posicion é intensidad 8 - 8') y la fuerza vertical 9 - 9' (peso de la porcion más alta del estribo). La diagonal 9 - 9' de este paralelógramo es la presion sobre la primera junta horizontal del estribo, habiendo reducido á la mitad, respecto de las precedentes, la escala para que la figura quepa en el papel..... Otro paralelógramo de la diagonal 9 - 9', reducida á un tercio de escala, y la fuerza vertical equivalente, con la misma reduccion, al peso de la segunda piedra del estribo. La diagonal 11' - 12' es, en la última escala, la presion trasmitida hasta la junta *c* del estribo. Del mismo modo se determinan, finalmente, las presiones 13' - 14' y 15' - 16' sobre la junta *d* y la base *e* del estribo.

El polígono de las presiones en su totalidad es, pues, la

figura 4, 5, 6, 7, 2, 9, 10, 11′, 12′, 13′, 14′, 15′, 16′. Llaman desde luego la atencion en este polígono varias soluciones de continuidad; una en 7-2 en el arranque, y otras 10-11′, 12′-13′ y 14′-15′, en las juntas horizontales; en estos puntos la curva límite de las presiones tampoco seria contínua. La razon es fácil de comprenderse: la primera procede de la circunstancia ya explicada, de cortar la presion sobre la última junta vertical, á la que actúa en la inclinada de arranque fuera de los límites de la dovela respectiva; las otras reconocen por causa la brusca retirada del centro de gravedad hácia el interior, por virtud del cambio de figura de la primera á la segunda piedra del estribo y la insistencia en una vertical de los centros de gravedad de las tres últimas piedras del mismo estribo. Ciertamente no habrian existido esas especies de escalones ó saltos en la curva, si, como algunas veces se hace, se hubiese reducido el espesor de la primera piedra, retirando hácia dentro su paramento exterior, y dejando así una berma ó zarpa entre ella y la siguiente inferior, y si lo mismo se hubiera hecho respecto de las otras tres piedras del muro. Por lo demás, en el estribo se acostumbra sólo considerar la curva 2, 10, 12′, 14′, 16′, que es la de los centros de presion, impropiamente llamada por algunos curva de presiones. De intento hemos querido reunir en este ejemplo todas las pequeñas dificultades que se pueden presentar en el trazado, casi siempre más fácil, de las curvas de presiones; nuestro objeto ha sido completar por este medio la explicacion del método general.

Trazada la curva, no queda más que tirar las juntas reales de la bóveda, y ver si están cumplidas las tres condiciones precisas y suficientes para la estabilidad práctica.

Primera. Toda la curva está contenida dentro del macizo formado por la bóveda y sus estribos. Aquí conviene observar que, si en vez del estribo de 5^m de espesor, se hubiese considerado el de 3^m, se puede apreciar que la curva habria salido fuera de su paramento exterior desde la segunda piedra, y que si se hubiese adoptado el de $4^m,50$, esta primera condicion hubiera sido satisfecha. Basta la simple inspeccion del polígono trazado para hacer con toda seguridad ambas afirmaciones; y por tanto nos ha parecido inútil hacer el trazado especial, que habria producido confusion en el dibujo.

Segunda. Siendo casi normales las dos juntas reales de la bóveda á las respectivas presiones, así como las dos últimas juntas horizontales y el asiento del estribo á las direcciones 11-12′, 13′-14′ 15′-16′, que terminan el polígono, bastará medir el ángulo 3-2-*a*, y el 9-10-*b*, y se vé que ambos son mayores que 54° 37′, complemento del ángulo (35° 23′) de rozamento de granito sobre granito, cuyo coeficiente es 0,74. Luego la segunda condicion está tambien satisfecha, y lo mismo hubiera sido para el estribo de $4^m,50$.

Tercera. Es inútil hacer esta comprobacion, porque á la vista solamente se comprende que no puede haber presion en las aristas capaz de hacerlas saltar; pero para hacer ver el método completo, observarémos que en la junta de arranque la distancia *a* 2 es mayor que el $\frac{1}{3}$ de su longitud, y por consiguiente estamos en el caso de $\delta > \frac{1}{3} l$, en que el valor de la presion máxima es dado por la fórmula

$$P_x = \frac{2P(2l-3\delta)}{l^2} < \frac{2P}{3\delta} \ldots P < 2\times 14^m,30 \times 2700^k = 77200^k \text{ (1)}$$

$$\frac{2P}{3\delta} < \frac{2\times 77200^k}{3\times 1,10} = \frac{154400}{3,30} = 46800^k \text{ por metro cuadrado....}$$

que es ménos de la octava parte del límite práctico de la resistencia de mampostería de sillares: ó, si se quiere, de otro modo más sencillo

$$P < 14,30 \times 2 = 28,60 \ldots 2\,P < 57,20$$

$$\frac{2\,P}{3\,\delta} < \frac{57,20}{3,30} = 17^m,33 \ldots .$$

que representa la altura de un prisma de sillería, cuyo peso ejerce sobre su base la presion antes calculada; 1603 metros es la altura que representa la carga de rotura en los granitos más blandos .... 160^m el límite práctico .... 17,33 es ménos de $\frac{1}{8}$ del límite práctico. Luego la tercera condicion está muy ventajosamente satisfecha.

Es conveniente observar que, como ya hemos hecho ver, la adopcion de esas juntas verticales ficticias, conduce á una curva de presiones, que no es la misma que resultaria de la division de la bóveda por sus juntas reales, y que así el método no es rigoroso. No obstante, se le considera suficientemente exacto en las aplicaciones; y de tal modo es así, que

(1) La presion P es la componente normal de la diagonal 8-8' ó 3-1, que, medida en la primera de las escalas de fuerzas $\left(\frac{1}{2}\right)$ es $2 \times 14,30$ ....

casi siempre se procede de igual manera aún en el primer método, para hacer más sencilla la determinacion de los momentos, centros de gravedad, y ecuaciones de equilibrio, que, sin esa simplificacion, daria lugar á integraciones complicadas. Por lo demás un rigor absoluto, sobre ser innecesario, no seria posible cuando hay carga adicional, porque ni la teoría, ni la observacion experimental revelan de un modo cierto cuál es la division que se debe hacer en la carga; y en este punto forzosamente se volveria á caer en la falta de precision rigorosa, á pesar de la division de la bóveda por las juntas reales. La figura III representa un ejemplo de bóveda de medio punto, construida con las proporciones dadas por las tablas; y, como se vé, en ella se ha aplicado el método de la curva de presiones sobre las juntas reales prolongadas á través de la carga adicional, que se ha supuesto limitada en la circunferencia superior para la homogeneidad de todo el macizo. Se comprende fácilmente que la discontinuidad de la curva en las juntas horizontales del estribo dejaria de manifestarse si, en vez de vertical, el paramento exterior fuese ligeramente inclinado en talud, como con frecuencia se disponen los estribos de las bóvedas.

Otras especies de bóvedas.

Para completar las ideas que nos ha parecido oportuno exponer aquí acerca de la estabilidad práctica de las bóvedas, será preciso hacer algunas indicaciones sobre los métodos empleados por los arquitectos cuando proyectan bóvedas que no son cilíndricas. A todas ellas son aplicables, en principio, los procedimientos explicados; pero sus diferentes aparejos reclaman algunas variaciones de detalle importantes.

Esquifadas. Las esquifadas más sencillas están compuestas de cuatro porciones de bóvedas cilíndricas simétricas dos á dos. Considerando, pues, cada una de las dos partes desiguales, se podrá aplicar los mismos procedimientos explicados; pero es indispensable tener en cuenta que aquí no se puede reducir la parte de bóveda á su seccion transversal, como hemos hecho antes, ni los pesos á las superficies de las dovelas, porque el cilindro en este caso no es completo, sino de longitud variable desde el arranque hasta la clave, en donde se anula, reduciéndose á un punto. Es, pues, preciso aplicar los métodos conocidos, no á una porcion de longitud igual á la unidad lineal, sino á la porcion entera de bóveda que cubre cada triángulo de la proyeccion horizontal. Las fuerzas serán aplicadas en los centros de gravedad de volúmenes comprendidos entre los dos aristones, y no en los de las superficies de una seccion transversal, y las dovelas serán prismas truncados, y no cuadriláteros planos. Es muy raro que en estas bóvedas haya tendencia á desunion fuera de los planos verticales de aristones; y en este concepto, casi nunca habrá necesidad de dividir cada parte de bóveda cilíndrica en un cierto número de porciones elementales por planos verticales de seccion recta, como se deberia en rigor proceder si, por la desigualdad ó débil calidad de materiales, otros modos de desunion fuesen de temerse.

Es perfectamente fácil comprender, sin el auxilio del cálculo, que el empuje ocasionado sobre cada estribo por una de las cuatro partes de la bóveda esquifada es máximo en medio de la longitud del muro, en donde es igual al que ocasionaria la bóveda cilíndrica completa, y decrece rápidamente hácia los ángulos, en donde es nulo; y si la directriz no es rebajada, y por consiguiente las primeras hiladas se sostienen sólo por el rozamiento, entonces, es decir, en el caso más frecuente, el estribo estará expuesto á accion transversal solamente en una pequeña parte media de su longitud. Tambien se comprende que si las piedras están bien ligadas entre sí, y los aristones convenientemente aparejados, la bóveda se sostendrá á pesar de la supresion de una ó varias hiladas de la clave, lo cual permite abrir, como ya hemos indicado, vanos para luz vertical.

El aparejo ó el modo de estructura de las bóvedas esquifadas no es sólo aplicable á plantas cuadradas ó rectangulares; pueden estas ser poligonales de un número par de lados, y entonces claro es que el procedimiento empleado para una de las cuatro porciones cilíndricas de las primeras será igual para las de las segundas. Es conveniente observar que la concurrencia de mayor número de aristones á un punto hace aún más limitada la accion del empuje sobre los estribos, y más fácil la abertura de vanos superiores. El arranque de la bóveda es un polígono de un número n (par) de lados.

Si hacemos la suposicion de que este número n sea muy grande, el polígono vendrá á convertirse en una circunferencia, y la bóveda será de revolucion (esféricas, vaídas, cúpulas, cónicas, etc.) Para comprobar, pues, la estabilidad de una bóveda de este género, será bastante en la práctica dividirla en un número par de elementos por planos meridianos, y si es grande el número de divisiones, se podrá asimilar cada dos elementos simétricos á porciones de superficies cilíndricas, cuyas generatrices serán partes de paralelos De revolucion.

consideradas como rectas por ser arcos muy pequeños. Estas bóvedas ocasionan, como es fácil comprender, muy poco empuje, y se podria hacer de manera que no lo hubiese, comprimiéndolas por medio de cinchos de hierro. En vez de un muro cilíndrico contínuo, se reducen casi siempre sus estribos á apoyos aislados, repartidos con igualdad en el contorno; pero en este caso convendrá dar á los apoyos más espesor del que corresponderia al muro contínuo, y ese aumento se gradúa por la relacion entre toda la base de la bóveda (en desarrollo) y la parte de ella ocupada por las crestas de los apoyos.

Por arista. L. 15, fig. 142

En las bóvedas por arista, si se considera, por una abstraccion, una cualquiera de las partes A-A, se comprenderá desde luego que los estribos limitados en B-B estarán sujetos á la accion de un empuje igual al de la bóveda cilíndrica que se termina en B-B, más las que les trasmita la porcion correspondiente al triángulo $B\ C\ B$. Será fácil calcular el empuje ejercido por la mitad de dicha porcion en sentido de la flecha f, ya aplicando la teoría de los momentos (primer método), ó ya las curvas de presiones dividiéndola por planos de seccion recta, muy próximos unos á otros; y como igual determinacion se puede hacer para la semiporcion $B\ C\ D$, se obtendrá otro empuje en sentido de la flecha f'. La resultante de estas dos fuerzas en el plano vertical C-B será entonces conocida, y la cuestion no presentará dificultad, sea que se establezca la condicion de equilibrio entre el momento de dicha resultante y el del macizo resistente proyectado en $f\ r$-$f'\ B$ (1), ó que se trace la

(1) Las juntas de rotura se supone que son $r\ f$ y $r\ f'$ en proyeccion horizontal.

curva de presiones en la seccion $C\ B$, pues la desigualdad [3], en el primer caso, ó la circunstancia de estar toda la curva contenida ó no en el macizo, en el segundo caso, dirán si la bóveda tiene ó no las proporciones exigidas por la estabilidad práctica.

Importancia de los aristones.

Se comprende, pues, la conveniencia de que la bóveda presente en las secciones verticales de los aristones un aumento de espesor, formando realces á modo de nervios, si, como aconseja la economía, no se ha dado un gran exceso en las partes restantes. Tambien resulta de las indicaciones precedentes que, siendo el aumento de resistencia de los estribos necesario solamente en las direcciones $C\ B$, bastará terminar la cabeza de los muros en refuerzos á modo de pilares salientes sobre los paramentos de aquellos. Se deduce, en fin, que la bóveda por arista puede ser considerada teóricamente como el resultado de la disposicion cruzada de dos grandes arcos en sentido de las diagonales, con condiciones de estabilidad propia y capaces de resistir las cargas adicionales debidas á la construccion de los rellenos triangulares que sobre ellos descansan. Esta idea se vé prácticamente confirmada en la mayor parte de los monumentos del estilo ojival, y á pesar de la opinion general de los autores, que suponen desconocida la teoría de las bóvedas antes de los principios del siglo XVIII, cuesta trabajo admitir que los arquitectos que *inventaron* en la Edad Media esas admirables disposiciones la ignoráran.

En la práctica no es necesario comprobar la estabilidad de las bóvedas por arista por medio de los procedimientos citados; cuando, como es lo más comun, se hallan dispues-

tas unas á continuacion de otras, cubriendo una nave ó pórtico, y están sostenidas por apoyos aislados en que descansan los arranques de los aristones, se considera suficiente comprobar las proporciones de las bóvedas como si fueran cilíndricas completas entre las secciones *C D*. Respecto de los apoyos, que están sujetos á una accion horizontal resultante de las que les trasmiten los aristones de las dos bóvedas contiguas, se acostumbra calcular su espesor como si se tratára del estribo de la bóveda cilíndrica por la fórmula [8], poniendo en vez de *E* su producto por la relacion del intereje *I* á la anchura *A* de los apoyos. Así, la fórmula se convierte en

Apoyos.

$$x \geqq \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{E\,I}{A} \times 1{,}20}{P}}$$

Los apoyos angulares que corresponden á los cruceros y á los cambios de direccion se hallan en condiciones más favorables de resistencia, si se atiende al empuje que les trasmite un solo ariston (el de la bóveda de ángulo) por destruirse los otros dos en direcciones opuestas; y áun ese único empuje está contrarestado por la resultante de los que producen en este caso las dos bóvedas incidentes. Sin embargo, las formas que deben tener para el enlace de las arcadas exigen casi siempre mayores dimensiones. Es innecesario explicar por qué los últimos apoyos deben tener mayor anchura que los demás; generalmente se los hace de seccion cuadrada, igualando la anchura al espesor, miéntras que en los otros este es en general mayor que aquella.

Inconvenientes de las bóvedas por arista.

Los grandes espesores que las bóvedas por arista exigen en sus apoyos y la imposibilidad de practicar aberturas en su parte superior, constituyen sin duda un gran defecto; pero la amplitud y elegancia de sus formas han sido razones poderosas para que el arte se haya esforzado en aminorar el primero de aquellos inconvenientes, ya que no podia salvar el segundo. Nada dirémos acerca del empleo de fuertes tirantes de hierro visibles que resisten el empuje, ni de las piezas del mismo metal embebidas en los macizos; y sólo nos detendrémos un instante en explicar los medios adoptados por la arquitectura de la Edad Media en las catedrales góticas, sin abordar aún la cuestion de composicion de bóvedas, á la cual reservamos un estudio más extenso y detenido en la segunda parte de estas lecciones.

Medios empleados por la arquitectura de la Edad Media.

El primer medio puesto en práctica por los arquitectos de la Edad Media para disminuir los empujes de las bóvedas por arista fué la adopcion de la ojiva. Es, en efecto, la forma más ventajosa, porque creciendo en rápida proporcion la intensidad del empuje á medida que disminuye la montea, la seccion ojival es evidentemente la que ménos fatiga los estribos; y reducidos estos á apoyos aislados que reciben los arranques de los aristones, ha sido posible limitar sus dimensiones á lo preciso para la estabilidad, suprimiendo los pesados muros sin objeto. Pero no ha sido este solo medio el empleado; se ha aliviado aún más cada apoyo por descargas de arcos-botareles, especies de puntales de piedra, que trasmiten á los costados ó muros laterales los esfuerzos ocasionados por el empuje de las bóvedas; y como si todavía se hubiese querido evitar la presencia de robustos muros, has-

ta los laterales del edificio, los que reciben la caida de los botareles, han sido reemplazados por contrafuertes, cuya estabilidad más se ha buscado en la sobreposicion de cuerpos esbeltos y elevados que en el aumento de sus dimensiones horizontales. Finalmente, á pesar de todas esas disposiciones, el defecto más saliente de la bóveda ojival hubiera subsistido, si, hábiles constructores é inteligentes mecánicos, no hubiesen los arquitectos de esa época evitado los fuertes espesores y el mucho peso que requieren esas formas, convirtiendo los macizos contínuos en un sistema de nervios-aristones, que vienen á ser la verdadera parte resistente, y aligerando todo lo demás de la bóveda por medio de una construccion sencilla, ligera y poco importante. La originalidad, el buen gusto, y la habilidad de estas disposiciones son dignas ciertamente de toda la admiracion y de los aplausos que con justicia la posteridad ha tributado á sus autores (1).

(1) Oportunamente harémos resaltar los defectos que, en nuestro concepto, presentan estas disposiciones bajo el triple aspecto científico, artístico y de conveniencia.

BÓVEDAS DE CAÑON SEGUIDO.

Diámetro de la seccion.	Espesor en la clave.	Espesor de estribos, cuyas alturas son respectivamente:							*Observaciones.*
		0m	1m	2m	3m	4m	6m	8m	
1	0,36	0,40	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	Si la mampostería de la bóveda es de cemento, los valores de la segunda columna pueden ser reducidos á los $\frac{2}{3}$.
2	0,40	0,45	0,70	0,80	0,85	0,95	1,00	1,10	
3	0,43	0,50	0,80	0,95	1,05	1,15	1,25	1,35	
4	0,46	0,60	0,90	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	
5	0,50	0,65	1,00	1,20	1,30	1,45	1,55	1,70	
6	0,53	0,75	1,10	1,30	1,45	1,60	1,75	1,90	
7	0,56	0,85	1,20	1,40	1,60	1,75	1,90	2,10	
8	0,60	0,95	1,30	1,50	1,70	1,85	2,10	2,25	
9	0,63	1,05	1,40	1,60	1,85	2,00	2,25	2,40	
10	0,67	1,20	1,50	1,75	2,00	2,15	2,40	2,60	
12	0,74	1,40	1,75	2,00	2,20	2,40	2,65	2,90	
15	0,84	1,75	2,10	2,30	2,60	2,80	3,15	3,40	
20	1,04	2,30	2,65	2,80	3,10	3,35	3,65	4,00	
30	1,35	3,25	3,55	3,80	4,10	4,40	4,80	5,20	
40	1,69	4,20	4,50	4,80	5,10	5,40	5,80	6,20	
50	2,06	5,15	5,40	5,80	6,10	6,40	6.80	7,20	

BÓVEDAS REBAJADAS, ELÍPTICAS Ó CARPANELES (1)

CUANDO LA RELACION ENTRE LA MONTEA Y LA LUZ ES $\frac{1}{3}$.

Luz. — Metros.	Espesor en la clave.	Espesor de estribos, cuyas alturas son respectivamente: 1m	2m	3m	4m	5m	6m	8m	*Observaciones.*
1	0,38	0,65	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	No se considera en estas bóvedas el caso de ser la altura de estribos inferior á 1 metro, porque rara vez ó casi nunca se presenta en las aplicaciones.
2	0,43	0,90	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,35	
3	0,50	1,10	1,35	1,45	1,50	1,60	1,65	1,70	
4	0,56	1,35	1,65	1,80	1,90	1,95	2,00	2,10	
5	0,61	1,55	1,85	2,00	2,10	2,20	2,30	2,40	
6	0,66	1,65	1,95	2,15	2,30	2,45	2,55	2,70	
7	0,70	1,75	2,05	2,35	2,50	2,65	2,75	3,00	
8	0,74	1,85	2,25	2,50	2,70	2,85	3,00	3,30	
9	0,79	1,95	2,40	2,70	2,90	3,13	3,25	3,50	
10	0,84	2,10	2,50	2,80	3,05	3,20	3,40	3,70	
12	0,95	2,30	2,80	3,15	3,40	3,65	3,80	4,00	
15	1,10	2,60	3,15	3,50	3,90	4,10	4,30	4,60	
20	1,35	3,20	3,80	4,20	4,50	4,80	5,00	5,30	
30	1,85	4,40	5,00	5,40	5,70	6,10	6,40	6,70	
40	2,35	5,50	6,20	6,60	6,90	7,50	7,80	8,10	
50	2,85	6,70	7,40	7,80	8,20	8,80	9,20	9,60	

(1) Es decir, que las secciones rectas, directrices de las bóvedas *cilíndricas*, á que se refiere esta tabla, son curvas elípticas ó carpaneles. Hacemos esta aclaracion para que no se confundan estas bóvedas con las elípticas propiamente dichas.

CARGAS-LÍMITES

QUE PUEDEN RESISTIR CON SEGURIDAD DIFERENTES CLASES DE MAMPOSTERÍA.

	CARGA POR centímetro cuadrado. — Kilógramos.	PESO DEL metro cúbico. — Kilógramos.
Mampostería de sillares buenos. . .	30 á 40	2700
Id. de morrillos.	14 á 20	2240
Id. de hormigon ordinario	5	2360
Id. de id. con cemento. . .	10 á 14	2350
Id. de ladrillos con mortero comun.	6	1870
Id. de id. con cemento. . .	10	1870

CARGAS-LÍMITES

QUE PUEDEN RESISTIR CON SEGURIDAD DIFERENTES CLASES DE MATERIALES.

	CARGA POR centímetro cuadrado. — Kilógramos.	PESO DEL metro cúbico. — Kilógramos.
Granito español.	35	2500
Id. azulado fuerte.	82	2630
Areniscas duras.	87	2500
Arcillosas (segun su dureza).	2,60 á 6,80	2080 á 2660
Calizas (id. id. id.).	13 á 79	2300 á 2720
Ladrillos buenos.	15	1550
Id. malos.	4	2080
Mortero ordinario.	3	1630
Id. con polvo de teja.	5	1460
Hormigon con cal eminentemente hidráulica.	14	1830

LECCION IX.

DECORACION DE BÓVEDAS.

Los Romanos decoraron las bóvedas por procedimientos análogos á los que los Griegos y ellos mismos empleaban para los techos planos, es decir, adoptaron el sistema de casetones. No hemos comprendido, en realidad, en qué se fundan algunos autores para condenar este medio de decoracion como contrario, segun ellos, á la verdad en las expresiones; nos parece poco fundada esta censura, porque creemos que en la decoracion arquitectónica no se ha de buscar rigorosamente la manifestacion de la verdad material y práctica de una construccion; satisface plenamente las exigencias del arte una disposicion, como la que ahora juzgamos, que sea

Roma.
L. 17, fig. 167

perfectamente racional; y bajo este concepto, nos inclinamos más á aceptar una manera de exornacion que todas las épocas han aceptado y aplicado, que á juzgar con severidad injusta lo que ha sido sancionado por el gusto universal. Los casetones en las bóvedas cilíndricas eran, en general, de forma cuadrada, y sencillos, dobles ó triples en profundidad; los nervios ó partes salientes, en sentido de las secciones rectas unos y en el de las generatrices otros, formaban, cruzándose, una especie de cuadrícula; en el fondo de cada division y en el centro habia una rosa, y los costados y aristas de los nervios, así como el contorno del cuadrado, presentaban molduras ricamente adornadas.

Arquitectura latina.

Los cristianos en las primeras basílicas siguieron las mismas prácticas de los Romanos, con pequeñas variaciones; más cuando sus recursos fueron creciendo, merced á las valiosas donaciones de los fieles, comenzaron á desplegar un lujo asombroso; figuraban en primera línea los mosáicos para la decoracion de los edificios religiosos. Las bóvedas absidales, como los muros de las naves, ostentaban sobre fondos dorados brillantes combinaciones representando pasajes de la historia sagrada.

Arquitectura bizantina.

Las bóvedas esféricas de la arquitectura bizantina estaban frecuentemente revestidas en su intradós de un cemento con taraceas, como las de Roma, sobre fondo dorado. En Santa Sofía, la gran maravilla del arte cristiano en Oriente, el oro, los mosáicos, preciosos mármoles y jaspes exornaban las superficies de muros y bóvedas; los colores y las pinturas al encausto que las esmaltaban, y la inmensa profusion de candelabros y lámparas de oro, colgadas de ca-

denas de bronce, debian producir, en un mar de luz, los más refulgentes destellos, y el mágico efecto de un esplendor casi sobrenatural. En medio de la atrevida cúpula central, y entre mosáicos, se destacaba una colosal figura del Padre Eterno, y las pechinas presentaban igual grado de riqueza en los querubines que las exornaban. La pequeña cúpula, que coronaba el cimborio sobre el altar, era de oro con flores de lís del mismo metal; en el intradós de esa cúpula se pintó la imágen del cielo, que cubria y guardaba la paloma de oro con la Santa Eucaristía.

Arquitectura romano-bizantina. L. 17, fig. 168

En las bóvedas romano-bizantinas, en que, como ya hemos dicho, dominaba aún el medio punto, el sistema más general de decoracion era el de arcos fajones en las de cañon seguido, correspondiendo á secciones rectas sobre los pilares, y en las bóvedas por arista tambien fajones de separacion entre ellas. El perfil de estos arcos era casi siempre rectangular, pero algunas, aunque raras veces, achaflanado. Las cúpulas de esta misma época, las pechinas, las arquivoltas y los espacios cilíndricos lisos comprendidos entre los fajones eran exornados con figuras esculpidas ó pintadas.

Arquitectura ojival. L. 17, figuras 169 y 170, y lámina 18, figuras 171 y 172.

La arquitectura ojival decora sus bóvedas por arista con los enlaces y cruzamientos de sus nervios, cuyas molduras hemos dado ya á conocer. Sencillos y en poco número al principio, con una rosa en la cruz de los aristones, dejan casi siempre cuatro triángulos lisos en el intradós; pero van despues multiplicándose en número y complicándose en la forma; se reduce la extension de los espacios lisos, y al fin del siglo XV ya los nervios son tantos, que forman sobre el intradós como una red tendida, que lo cubre por completo,

y que parece como la obra del cincel de un joyero sobre el oro ó la plata. Hay más: en los puntos de las bóvedas en donde se cruzan más de dos nervios nacen unas piedras de formas variadas, que están como colgadas de la bóveda, y que llegan á tener una longitud considerable. Semejante ornamento, que nada significa más que un atrevimiento, una temeridad innecesaria, es uno de los signos más marcados de la decadencia del estilo gótico en el siglo xv. Ornamentos supérfluos, vano alarde de osadía, á veces tanto más torpe cuanto más ficticio; en una palabra, bastardía del arte que por todas partes anuncia su próxima muerte. En todo el largo período que abraza el estilo ojival, la pintura fué uno de los adornos más importantes sobre las superficies de los muros, pilares, molduras, y sobre las partes lisas de las bóvedas; en estas se solia representar la bóveda celeste por estrellas doradas sobre fondo azul. Los colores, haciendo juego con las preciosas vidrieras pintadas de las ventanas, daban á la iglesia toda un aspecto de diafanidad verdaderamente admirable.

Renacimiento. Volvieron con el Renacimiento en el siglo xvi las antiguas formas semicirculares de la arquitectura romana, y los casetones con ellas á ser el ornamento principal de las bóvedas. Mas los rezagos del estilo ojival florido se hicieron todavía sentir en monumentos híbridos de dicha época. Más adelante fueron desapareciendo las exageraciones, y reviviendo en las bóvedas, al lado de las formas y decoracion romanas, muchas de las ideas de la arquitectura gótica del siglo xiii, la más pura y la más bella. Y así las construcciones modernas presentan una racional y discreta aplicacion

de todos los sistemas; rompe, con el empleo de los arcos fajones, la monotonía y lisura de las bóvedas cilíndricas, y los dispone de modo que correspondan sus arranques á cadenas ó pilastras en los estribos, los moldura, y adorna sus intradoses como los sófitos antiguos; hace intervenir las pinturas y obras de escultura en los grandes espacios intermedios, y deja al pincel y al cincel toda libertad para desplegar los recursos de su arte sin más limitacion que la naturalmente impuesta por la armonía y las proporciones; acepta y aplica los casetones; y en las bóvedas compuestas, en que las intersecciones de superficies (los aristones), parecen excluir su empleo por la irregularidad que resultaria en sus formas, sigue la arquitectura moderna análogos procedimientos á los de la Edad Media, emplea los nervios, sin prodigarlos, y los combina sin dar lugar á la confusion.

Sin embargo, á excepcion de las bóvedas por arista, en algunas de las compuestas se emplea á veces la decoracion de casetones; así, por ejemplo, en las esquifadas se la ha aplicado algunas veces en monumentos importantes; pero la disposicion que parece más elegante y propia para estas bóvedas es la de terminarlas por una superficie adintelada, exornar ésta como si fuera un techo plano ó cielo, y moldurar su enlace con la parte inferior esquifada, así como la imposta y cornisa del arranque.

La distribucion de los casetones en las bóvedas cilíndricas se hace de modo que los nervios en los arranques, en sentido de las generatrices, sean suficientemente anchos para permitir que las primeras filas de casetones á cada lado sean vistas desde cualquier punto de la sala, sin que las im- Casetones. L. 18, fig. 173

postas las oculten; y que en la clave exista una fila, destinada sin duda á contener rosetones para sostener lámparas. Además, las séries de casetones en sentido de las secciones rectas de la bóveda deben corresponder á los puntos débiles de los muros, como son los ejes de los vanos, y los nervios á los ejes de los entrepaños, á las pilastras, etc., etc. Con estos datos es fácil comprender el trazado que indica la figura 173.

Pero en las bóvedas esféricas y las de revolucion, la distribucion debe ser diferente, y el trazado no es tan sencillo. En efecto, se comprende desde luego que las filas horizontales de casetones, estarán, así como los nervios que las separan, comprendidas entre circunferencias de paralelos, y las filas y nervios verticales entre secciones de meridianos; pero como los paralelos van siendo menores á medida que se alejan del plano horizontal de arranque, y los meridianos convergen hácia la clave, se concibe que sólo hasta cierta altura pueden llegar los casetones y que, menguando los cuadros en el sentido de los meridianos, tambien en proporcion deben menguar las anchuras de los nervios; y finalmente, es natural que, cualquiera que sea la figura del caseton, se la pueda inscribir una circunferencia, porque generalmente son rosas circulares los adornos que se coloca en su fondo.

Para que el trazado responda á estas condiciones, la division de la bóveda en sentido horizontal no presenta dificultad, porque basta dividir el círculo horizontal de arranque en un número de partes cuyas amplitudes sean alternativamente iguales á las anchuras que se quiera dar á los casetones y á los nervios; mas en sentido vertical es preciso

determinar por medio de procedimientos especiales las dimensiones correspondientes á cada division y cada nervio. Los arquitectos han empleado para ello varios medios: unos, á imitacion de lo que se practica para las cartas geográficas, desarrollan aproximadamente los husos comprendidos entre cada dos curvas meridianas, y trazan entre los límites de esa especie de desarrollo las circunferencias tangentes ó inscritas de que hemos hablado, deduciendo de ellas todas las divisiones para despues referirlas á la bóveda: este método, que sólo seria exacto en la bóveda cónica, tiene además el inconveniente de ser aplicable no más que á bóvedas de mampostería. Otros han querido resolver la cuestion por cálculos de trigonometría esférica, que son largos y pesados, y que, aplicables á las bóvedas esféricas, no lo son á las demás de revolucion. Los procedimientos gráficos que algunos han fundado en combinaciones de círculos máximos de la esfera, además de ser complicados, no son generales, porque se refieren exclusivamente á una clase de bóvedas, las esféricas.

El único que conocemos, libre de todos los inconvenientes señalados, y además muy sencillo, es el que dá Emy en su *Tratado de carpintería*. Determina, en primer lugar, el nervio horizontal de arranque del mismo modo que hemos dicho para las bóvedas cilíndricas; y practicada la division en meridianos, quedará en el paralelo primero, que limita superiormente el nervio horizontal de arranque, una série de partes que corresponden alternativamente á nervios y casetones. Por los puntos medios de cada una de las partes correspondientes á casetones levanta en los planos verticales meridianos que los contienen rectas normales á las res- L. 18, figuras 174, 175, 176 y 177.

pectivas curvas meridianas; y tomando dichas rectas como generatrices más bajas de conos circulares rectos cuyo vértice esté en el eje de la bóveda y tangentes á los planos meridianos extremos de las partes correspondientes, las intersecciones de estos conos con la superficie de la bóveda determinarán las circunferencias inscritas á los casetones, y sus puntos más altos reunidos por un paralelo señalarán el límite superior de la primera fila, que es el inferior del segundo nervio horizontal. Para determinar este, se comienza por trazar las divisiones que en el último paralelo obtenido marcan los meridianos, y por los puntos medios de las que corresponden á los nervios verticales se levantan normales á las curvas meridianas que los contienen, y tomándolas como generatrices más bajas de conos rectos circulares, cuyo vértice esté en el eje de la bóveda y tangentes á los planos meridianos que limitan cada nervio, las intersecciones de dichos conos con la superficie de la bóveda determinarán circunferencias cuyos puntos más altos reunidos por un paralelo dán el límite superior del segundo nervio horizontal, que es el inferior de la segunda fila de casetones. Para determinar esta, se considera las generatrices más altas de los últimos conos como las más bajas de los siguientes, y se continúa trazando los conos siempre tangentes á los planos meridianos que limitan casetones, cuando se trata de determinar las filas de estos, y á los que limitan nervios verticales cuando se trata de determinar los horizontales, hasta que la pequeñez de las intersecciones no permita continuar el trazado, desde cuyo punto la parte superior de la bóveda recibe otros ornamentos.

Explicado así este método de una manera general, es innecesario detallar los procedimientos gráficos que presentan las figuras, aplicados á diferentes especies de bóvedas. Sólo llamarémos la atencion acerca de la sencillez que introduce en el trazado el uso de los planos de proyecciones, permitiendo reducir todas las operaciones á un solo meridiano paralelo al plano vertical.

Hemos censurado las bóvedas simuladas de madera cubiertas con enlucidos en el intradós; y debemos decir que esa censura no abraza á las que se disponen con maderas aparentes molduradas, formando casetones. Lo único que dirémos de estas últimas es que tienen grandes inconvenientes por su exposicion á incendio y por su corta duracion. Las figuras dan el tipo de una bóveda cónica y una parte de la esférica así dispuestas.

Las bóvedas de construccion mixta están decoradas por su propia disposicion, y por el contraste de sus diversos materiales.

Las que hemos indicado, compuestas de arcos de hierro, admitirian la misma decoracion que las demás; pero la más adecuada al sistema de construccion, y á la vez susceptible de toda la riqueza que se quisiera, seria la interposicion de losas de mármol, ó de piezas moldeadas de barro cocido (si los cuadros son grandes y mucha la curvatura), entre los arcos, y pintar estos ó cubrirlos con junquillos dorados, fijos por medio de botones de cobre ó bronce.

En las construcciones de nuestros dias, y particularmente en las casas de habitacion privada, seria difícil encontrar tipos de belleza artística en decoracion de bóvedas y de te-

chos planos. Cuando no son masas de yeso, afectando figuras de mal gusto y mal adheridas al intradós, del cual se desprenden con frecuencia, ó por lo ménos se hunden y resquebrajan, son superficies lisas, monótonas, sin accidentes ni variedad, cuya vista inspira temor y causa tristeza, en grosero contraste con los ricos adornos de las paredes, las lujosas chimeneas y las magníficas alfombras de los pavimentos.

TERRADOS Y PAVIMENTOS.

Terrados en Grecia y Roma.

Los terrados en Grecia eran generalmente compuestos de varias capas de cascos ó tiestos de barro mezclados con cal, y una hilada superior de ladrillo ó losas muy bien ajustadas. Los enrejonados romanos eran unos macizos compuestos de tres capas: la primera (*statumen*), que podemos llamar de mampostería ordinaria menuda (á veces en seco), estaba formada de piedras cuidadosamente colocadas sobre sus caras mayores; la segunda (*ruderatio*) era un hormigon formado con pequeños cantos muy divididos, mezclados y batidos con cal; la tercera (*nucleus*) era una mezcla de cal, creta, ladrillos, tejas y tierra; esta mezcla era muy bien batida hasta quedar hecha una pasta; otras veces la tercera capa era de cal y grava muy menuda con arcilla plástica. Sobre el enrejonado se tendia el *summum dorsum*, que era una superficie unida de losas labradas de formas más ó ménos regulares.

Los terrados de Italia han sido siempre notables por su completa impermeabilidad, que es la más esencial de sus condiciones, y por su ligereza extraordinaria; y todo el secreto está en el empleo de las enérgicas puzolanas naturales que abundan tanto en el país, y de la piedra pomez, cuya ligereza y buena adherencia con los morteros son generalmente conocidas. Sobre esta capa de hormigon, así preparada y batida varias veces, se extiende otra más delgada de la misma composicion, en cuya masa se introduce un gran número de pedazos irregulares de mármol. Despues de bien apisonado todo, y de haber dejado endurecer la capa, se la bruñe y pulimenta como si fuera una piedra, apareciendo de este modo á la superficie dibujos variados y caprichosos que le dan el aspecto de una *pudinga* natural, ó más propiamente, de una *brecha*. Ya verémos que estas disposiciones son iguales á los pavimentos algunas veces empleados por los Romanos.

Modernos.

Como los terrados son en muchos países, sobre todo en los meridionales, puntos en donde se reunen las personas para respirar el aire puro y fresco que baña las azoteas, se ha dado cierta importancia á su decoracion. Así, despues de ocuparse muy sériamente los constructores modernos de la impermeabilidad y buena composicion de las capas de enrejonado; despues de haber sustituido á la capa de tablones que se asentaba antes sobre las vigas, una ó dos capas de lo que hoy se llama *ladrillos por tabla*, ya apoyados en las mismas vigas, ya en cintas ó alfajías transversales; despues de estudiar las pendientes que mejor den fácil salida á las aguas (3 por 100), y tubos y canales de bajada bien dis-

puestos; despues, en fin, de haberse de ese modo ocupado de la cuestion principal (1), no han descuidado la decoracion de los terrados. Además de las que hemos descrito, empleadas en Italia, y como variedades del mismo sistema, se ha hecho multitud de preciosas combinaciones de mármoles de diferentes colores con dibujos y figuras diversas. Los cementos teñidos por óxidos metálicos tambien han sido muy usados, y de ellos se ha sacado gran partido para decorar los terrados; y los asfaltos, en medio de sus grandes inconvenientes, sobre todo en países cálidos, han sido tambien muy usados en mezcla con otras sustancias. Sobre los terrados asfálticos se puede establecer algun arbolado, que anima y embellece esta parte de la construccion; pero lo general hoy es colocar macetas con flores y árboles de poco desarrollo. No era así en la antigüedad, como lo demuestran los maravillosos jardines de Babilonia, cuya descripcion es muy interesante y curiosa.

Decoracion.

Jardines de Babilonia.

Sobre una planta de 120 metros en cuadro se alzaba una inmensa pirámide escalonada con dos pisos. La parte de cada uno que no tenia construccion superior y toda la extension del más elevado estaban cubiertas por azoteas, cuya disposicion era la siguiente: un techo de enormes losas ó vigas de piedras labradas sostenia cuatro capas: la primera de cañas con asfalto; las dos siguientes de ladrillos con yeso, y la cuarta de planchas de plomo, sobre las cuales estaba la

(1) Son muy dignas de citarse como modelos las azoteas de Cádiz, que el ingeniero militar español Sr. Cerero ha dado á conocer en una memoria, digna de estudiarse, como todos los trabajos debidos á su inteligencia é instruccion.

gruesa capa de tierra vegetal ó terreno artificial que alimentaba multitud de árboles. Las raíces de los mayores se extendian á través de pilares huecos cuadrados llenos de tierra que de trecho en trecho sostenian las azoteas. Seguramente esta disposicion, unida á la de los aparatos hidráulicos para elevar el agua, á la magnitud colosal de los árboles y otras circunstancias que asombran, moverian el ánimo á la duda, si no debiésemos dar crédito á las referencias de respetables historiadores, y si no nos causasen igual asombro otras obras de la antigüedad, no ménos maravillosas, de cuya existencia es absolutamente imposible dudar.

Pavimentos.

Los pavimentos son las superficies que cubren los suelos, ya formen estos un piso á la altura del terreno natural, ya sean las divisiones que separan los distintos pisos de un edificio. Pueden ser de piedra ó de madera; antes nos ocuparémos de los primeros.

Grecia.

Los de los Griegos eran generalmente formados de losas cuyos distintos colores y los variados dibujos á que se prestaban constituian su decoracion especial. En los templos las losas formaban algunas veces mosáicos, y otras estaban cubiertas con estucos de un tinte amarillo y líneas de varios colores.

Roma.

El *pavimentum* romano cubria un número de capas diversamente compuestas, y era formado unas veces de estuco con fragmentos de mármol que lo embellecian, otras de polvo de teja apisonado que daba al estuco el aspecto de granito rojo, otras de ladrillos, piedras pulimentadas, mármol, jaspe, pórfidos, etc., etc. Las formas de estas piezas

eran circulares (*scutula*), triangulares (*trigona*), cuadrangulares (*quadrata*), exagonales, pentagonales etc., etc.; y todas estas combinaciones eran conocidas con el nombre de *opus segmentatum*.

Mosáicos. El *mosáico*, llamado por los Romanos *opus musaicum*, y tambien *opus vermiculatum*, por las líneas onduladas ó vermiformes que solian dibujarse en él, era una composicion taraceada de pequeños cubos de mármol, vidrio ó piedras de varios colores embutidas en capas de cemento y representando florones, rosas, objetos de mitología ó pasajes históricos, así como dibujos de hojas y festones, y otras figuras, que despues se han llamado y se llaman hoy arabescos. Incrustados los cubos de colores en el cemento, se pulimentaba la superficie, cuyo bellísimo aspecto exornaba en muchos casos no sólo los pavimentos, sino tambien los techos y paredes.

La idea de los mosáicos no es original de los romanos; pero este pueblo, hábil por excelencia, ya que no dotado de iniciativa, tuvo el gran mérito de haberla perfeccionado por extremo, facilitando sus aplicaciones hasta el punto de haber llegado á hacer piezas portátiles de mosáicos en forma de baldosas. Conocidos y áun aplicados por los pueblos del antiguo Oriente, pasaron á los Egipcios, de quienes los tomaron los Griegos; y los Romanos, que de Grecia recibieron artes, ciencias y dioses, no es extraño que de allí lleváran tambien á su gran ciudad la obra que tanto perfeccionaron despues.

Mármol y vidrio. Tambien está hoy completamente demostrado que los Romanos, despues de haber llegado á la perfeccion en los ornamentos de muros y de pavimentos por medio del mármol, aplicaron á esos mismos objetos el vidrio en planchas de diversos colores, realzadas no sólo con figuras pintadas, sino tambien con bajo-relieves de gran mérito. Se han descubierto fragmentos de gran tamaño de pavimentos de vidrio, y hasta piezas enterizas del tamaño de una habitacion; y con gran copia de razones, fundadas en otros descubrimientos, se ha podido asegurar que ese mismo modo de exornacion se aplicaba no sólo á las paredes sino á los techos. Esas grandes piezas de vidrio pintadas ó esculpidas, presentan, como los mosáicos, dibujos que contienen alegorías é inscripciones de gran valor histórico, pues ellas en algunos casos han proporcionado datos y revelado hechos callados por los poetas é historiadores de la época.

Arquitectura latina. En algunos monumentos del arte cristiano en Roma habia pavimentos de gran belleza, compuestos de una reunion de grandes lápidas de pórfido ó granito, cuadradas, exagonales, octogonales, y más frecuentemente circulares, y en los intérvalos, formando enlaces de gran primor, mosáicos de piedras más pequeñas contrastadas por diversidad de colores. Tambien en algunas basílicas de la misma época el pavimento era una taracea de mármoles y jaspes.

Estilo bizantino. El estilo neo-griego ó bizantino tomó de Roma los mosáicos, y los prodigó en todas sus construcciones, exornando con ellos los techos, muros y pavimentos de las iglesias. La de Santa Sofía tenia un lujoso pavimento de mármol verde de la isla de Propóntida, labrado y de tal manera dispuesto, que sus colores veteados ó cinteados representaban las corrientes de cuatro ríos dirigiendo sus aguas al mar.

Edad Media. En la Edad Media la arquitectura romano-bizantina empleó tambien los mosáicos y taraceas, combinando jaspes, pórfidos, mármoles y piedras artificiales pintadas y esmaltadas, cuyas representaciones eran casi siempre de carácter religioso; ya figuraban los profetas, ya los apóstoles, ya los evangelistas, etc., etc. En monumentos de ménos importancia era el pavimento una solería sencilla de grandes losas; y en algunas iglesias se vaciaba la piedra y en las cavidades se vertia una almástiga coloreada, afectando dibujos variados y más ó ménos elegantes.

La arquitectura ojival pone en uso en el siglo XIII las losetas barnizadas, con brillantes dibujos, cuyas combinaciones representan rosas, florones y arabescos. Reviven en esta (L. 19. fig. 178) época los pavimentos llamados de *laberintos,* y se les aplica á las iglesias, en donde son emblema del templo de Jerusalen: es su orígen muy antiguo, más aún que el del cristianismo; y su trazado tal, que, siguiendo una de sus líneas, se llega, sin solucion de continuidad, desde la periferia al centro, despues de recorrer en pequeño espacio un desarrollo de centenares de metros.

Varios procedimientos modernos. Las losetas de mármol de diferentes colores, empleadas desde los tiempos más antiguos por los chinos, son hoy de muy frecuente aplicacion; tambien se emplea hoy mucho un sistema que ya hemos dicho era usado en la Edad Media, y que el Renacimiento adoptó. Consiste en combinaciones de losetas de barro cocido de distintos colores, y que forman elegantes dibujos; esos colores pueden estar en toda la pasta ó ser sólo aplicados superficialmente y cubiertos de un barniz, y en este último caso sus aplicaciones, además de

ser muy bellas, producen pavimentos muy aseados, pero son muy resbaladizos, y cuando por efecto del roce pierden el barniz, es necesario renovarlos, lo cual es costoso. Las losetas de piedra artificial hecha con mortero de cal hidráulica ó cemento, moldeado y comprimido, son tambien bastante usadas, y en algunos casos con ventaja. Son susceptibles de mucho adorno tiñendo las pastas con óxidos metálicos ó veteándolas, y entonces imitan el mármol. Finalmente, en parques, aceras, glorietas, plazuelas, y hasta á veces en patios, se suele usar grandes losas de arcilla pizarrosa, y otras variedades de rocas de bastante dureza, grano fino y colores agradables: tal es, entre otras, la losa bremesa que tiene un tinte avinado muy hermoso. Para portales, vestíbulos y otras partes de los edificios en donde el tránsito es frecuente se suele emplear el ladrillo de canto como en sardinel: este piso es de gran consistencia y mucha duracion.

Los pavimentos de madera son en general formados de tablas ensambladas á ranura y lengüeta sobre las vigas del suelo: tal es la disposicion más sencilla; y, en verdad, la precision de que forme una superficie lisa y suave parece excluir la posibilidad de decorarlos. Sin embargo, se pueden emplear tablas pequeñas y estrechas, y combinándolas de un modo conveniente, dar alguna variedad á su aspecto. Así, entre otras, citarémos la disposicion siguiente: sobre los cabios del suelo se extiende una capa de tablas unidas como en el primer sistema, y por cima de ella se aseguran tabloncillos cortos de encima, formando como una cuadrícula ó una série de rombos unidos entre sí con espigas; las divisiones de la cuadrícula comprendidas entre los tablon- Madera.

cillos se llenan con piezas de tablon que entran á ranura y lengüeta en los cantos de aquellos. Ninguno de los clavos que fijan las piezas unas á otras queda aparente, lo cual se consigue, ya introduciéndolos oblícuamente por los cantos, ya haciéndolos pasar por taladros preparados con barrena é introduciendo la cabeza del clavo dentro del espesor de la madera, la cual despues se cubre con tarugos encolados y cepillados para enrasar. En algunos países, como en la isla de Cuba, en donde la variedad de maderas es infinita, y su calidad excelente, se disponen con ellas preciosas combinaciones taraceadas, que son verdaderos mosáicos, formando rosas, estrellas y otras figuras. Como las piezas de madera que constituyen estas disposiciones son pequeñas, es preciso colocar por debajo de ellas un pavimentos ordinario de tablas.

Pero cualquiera que sea la disposicion que se adopte, es preciso convenir en que, con las variaciones atmosféricas, estos pavimentos están muy expuestos á alabearse y sus multiplicadas uniones se abren con frecuencia. La dificultad principal de decorar los pavimentos de madera está en la condicion necesaria, en todo piso, de ser unido y contínuo.

Aunque en cierto modo ajenas de este lugar, vamos á hacer algunas ligeras indicaciones acerca del empleo de la madera para decorar muros, porque despues de haber reconocido que se presta poco á la decoracion de los pavimentos, parece natural decir cuál es el partido que el arte puede sacar de este material. Hoy, sin embargo, en Europa sobre todo, los papeles pintados son preferidos, no sólo por la belleza con que la industria los fabrica, sino por el precio relativamente bajo á que se puede adquirirlos; pero si estas razones, así como la sencillez de su colocacion, son muy atendibles, no se debe ni se puede olvidar que los revestimientos de papel son de muy poca vida, y que en ciertos países, y en ciertas estaciones, contribuyen eficazmente al desarrollo de multitud de insectos que apresuran su destruccion y mantienen el desaseo en las habitaciones. Los revestimientos de madera son, pues, superiores, si bien se debe preferir el estuco y las pinturas.

Más ó ménos complicadas y susceptibles de la mayor riqueza, estas disposiciones varian mucho; las más sencillas consisten en la formacion de grandes casetones, cuyo fondo es una tabla á toda su anchura, y cuyo cuadro ó bastidor se compone de tabloncillos estrechos y gruesos, los cuales forman salientes despues de haber recibido á junta cubierta á la primera. Generalmente los casetones no abrazan toda la altura; se dividen verticalmente de manera de formar especies de basamentos ó cenefas. Desde esta disposicion sencilla hasta los grandes casetones con ricos tallados y los bastidores de molduras con dorados marcos, desde la línea recta hasta las formas poligonales y circulares ú ovaladas, se concibe cuántos grados caben de belleza, y cuánto campo se ofrece al arte para decorar.....

Estos revestimientos rara vez llegan al techo; se unen á él por cornisas de yeso, y al pavimento por un zócalo ó rodapié, que es un tablon de canto con una ligera moldura. Es innecesario decir que estos revestimientos jamás están en contacto directo con el paramento del muro; y que, además de procurar siempre que circule el aire por el espacio hueco

que queda detrás de ellos, se tiene especial cuidado en disponer los herrajes de sujecion de modo que quede á la madera un juego libre de contracciones y dilataciones, á fin de que no se alabée.

ELEMENTOS ACCESORIOS DE ARQUITECTURA.

De todos los elementos necesarios, indispensables, que entran en la composicion de los edificios, se puede decir que sólo falta estudiar uno: las escaleras. Y ciertamente extrañará que no le demos cabida en esta primera parte; esta extrañeza no puede proceder, en nuestro concepto, más que de un hábito adquirido al ver que todos los autores consideran primero las escaleras como un elemento de arquitectura, para estudiarlas despues como parte de los edificios. Semejante division, á nuestro modo de ver, es contraria á un buen método de enseñanza, y es además contraria á la razon; porque para explicar la disposicion de las escaleras es lógico, es ineludible tratar simultáneamente de la planta y del perfil, es decir, del elemento horizontal y del vertical; por consiguiente no es ya un elemento, es una composicion de elementos, es una parte de edificio. Su grande importancia y las dificultades que suele presentar al arquitecto el establecimiento de las escaleras, nos han inclinado á trasladar su estudio completo á la segunda parte, en vez de fraccionarlo. Respetamos mucho las opiniones de los maestros en cuyos libros hemos aprendido; pero es lícito que tengamos una opinion, y es perfectamente natural que con arreglo á ella procedemos.

Vamos aquí á ocuparnos solamente de ciertos elementos, cuya importancia no es sustancial en el arte, como los de que hasta ahora hemos tratado; no será, pues, preciso que nos extendamos en largas explicaciones.

Si se recuerda bien todo lo que dijimos al discutir lo que significa y lo que es el órden en arquitectura, será ocioso repetir que lo que así se llama no es, ni fué, ni pudo, ni debió ser un mero accidente de forma ni una determinacion convencional, arbitraria, y segun algunos caprichosa, de proporciones, con galas de exornacion que sólo inspirára la fantasía, no: es una verdadera ley en toda la acepcion que el arte debe y puede atribuir á esa palabra. Ley que nace de un concepto perfectamente racional; ley que es hija de los rígidos é inflexibles preceptos de la ciencia; pero que, sin ser tan estrecha ni tan restrictiva como ellos, siquiera no los vulnere ni los falsée, deja gran latitud y campo inmenso á la inspiracion, al génio, ó á las múltiples y no pocas veces contrapuestas condiciones que entrañan las aplicaciones de nuestro difícil arte. Esa ley, que jamás se debe caer en la grosera trivialidad de confundir con la leccion aprendida de memoria por un escolar, es universal en la edificacion; lo mismo se imprime en la columna, en el pié derecho, en el arco, que en la columnata ó en la arcada, y lo mismo se la vé, se la siente en estos elementos que en el muro, y en el edificio entero. Un sistema de columnas descansa sobre una construccion cuya forma podrá variar, pero cuya naturaleza y cuyo objeto son siempre los mismos; no de otra manera cada muro se asienta sobre análogas disposiciones, y el conjunto de todos ellos, que cierra y constituye el edificio, Basamentos.

se encuentra naturalmente sujeto á esa misma ley. Allí se llama *pedestal,* aquí *estilobato*, en otra parte *base*, en el edificio se llama *basamento* (1). Las más antiguas obras de los pueblos de Oriente, las construcciones del Egipto se asientan sobre basamentos; la Grecia no los olvida en ninguno de sus monumentos, y Roma siempre los emplea; la Edad Media, ese período que tanto se apartó de los preceptos del arte, y tanto parecia ostentar independencia y atrevida novedad, respeta los basamentos, y los aplica por todas partes; el Renacimiento, al aplicarlos, les imprime más carácter, y á veces los convierte en verdaderos pisos bajos. No era posible que la arquitectura moderna dejase de emplear tambien este importante elemento, que llamamos accesorio, porque sin él existe el edificio, como sin piés puede existir el hombre.

La gran variedad de disposiciones que han revestido y revisten los basamentos, es una prueba de lo que sobre la idea del órden acabamos de indicar. Su carácter, que debe ser la expresion de su objeto, es ante todo la solidez, la resistencia; han de dominar, pues, en ellos las líneas horizontales; un decrecimiento bien acentuado, que acerque su forma á la de una pirámide, y pocos vanos (si es posible ninguno), deben indicar que no está debilitado un elemento, cuya primera condicion es la robustez. Los basamentos griegos y romanos llenaban todas estas condiciones; eran generalmente formados por una série de gradines, cuyo plano superior casi siempre presentaba una explanada de bastante anchura, precediendo á las fachadas principal y laterales del edificio; algunas veces encima de esta explanada habia un pedestal corrido ó estilobato, y tambien, en uno ú otro caso, se solia disponer á mitad de altura de los gradines un rellano ó meseta.

(1) Esta es la más comun de las aplicaciones de la palabra *basamento*. Se recordará, sin embargo, que ese nombre tambien hemos dado á los pedestales contínuos.

El estilo bizantino conserva en los basamentos la forma de pedestal corrido, y en ellos solamente emplea el mármol cuando por todas partes el mosáico le habia reemplazado.

La arquitectura romano-bizantina, elevando á cierta altura sobre el terreno natural los muros de las criptas, para dar luz á estos espacios subterráneos, establece como grandes zócalos, con algunas, aunque pocas, aberturas: es la primera forma del basamento en este período; más adelante, á medida que va el elemento vertical dominando, aquel se eleva y toma mayor importancia, dejando ya de parecer un zócalo. En esta época se vé felizmente vencida una dificultad artística, que pocas veces es posible salvar. La apariencia de solidez que debe tener un basamento va casi siempre acompañada de monotonía, de lisura y pesadez, porque parece que el ornato es contrario á su carácter; pero precisamente es la parte de la fachada que está más próxima á la vista de quien la contempla, y es natural que la decoracion en ella sea atendida con cierta preferencia. La Edad Media, preciso es reconocerlo, tuvo el tino de aliar con singular habilidad el carácter de fuerza con la delicadeza de los ornamentos.

El Renacimiento, ya lo hemos indicado, hace servir de basamentos los pisos bajos, y para ello á veces levanta los paramentos exteriores de los muros en talud más ó ménos pronunciado hasta la altura del piso principal. Así tambien

los aplica la arquitectura moderna; y para destruir en lo posible el aspecto de debilidad que les dá la inevitable presencia de los vanos en esta disposicion, decora los muros con almohadillados, ó bien establece pilastras y áun columnas empotradas entre cada dos vanos; pero es difícil que, al dar á estos apoyos el carácter de cadenas, se conserve la armonía de la fachada.

Muchas veces hoy los basamentos son sencillas escalinatas á semejanza de las de los Griegos. Se procura siempre que la separacion entre este elemento y el piso inmedito superior ó entre el bajo y principal, cuando el primero hace los oficios de basamento, no tenga el aspecto ni las formas de una cornisa, que seria muy impropia, y se limita dicha separacion por un plinto ó cadena horizontal estrecha, lisa ó muy sencillamente moldurada.

Es, en nuestro concepto, de muy mal efecto una disposicion, comunmente empleada en nuestros dias, en la cual son basamentos los pórticos bajos á nivel del terreno. Ni los pórticos de entablamentos, ni los de arcadas, ni sobre piés derechos, ni sobre columnas, son disposiciones propias para sustentar toda la masa de una construccion, si ellos á su vez no son sustentados por una escalinata de ancha base, ó por un estilobato romano. El Museo de pinturas de Madrid, obra de gran mérito que honra á la arquitectura española, seria de un aspecto mucho más grandioso, si no adoleciese del defecto que acabamos de señalar. Se busca la base del monumento y no se la encuentra; parece que se halla debajo del suelo escondida ó sepultada.

Aticos. Bastante usado en algunas construcciones, aunque de menor importancia que el basamento, otro elemento de arquitectura, llamado *ático*, merece que digamos de él algunas palabras. Es una construccion que corona la parte superior de un edificio; unas veces es balaustrada ó murete continuo; otras parece más bien pretil ó parapeto de una azotea, y cuando la cubierta es de tejado, oculta el aspecto poco elegante de este; otras se le puede considerar como un pedestal corrido cuyo objeto es sostener estátuas ó figuras esculturales; otras, finalmente, forma un verdadero piso superior de poca altura, ya limitado á una parte de las fachadas, ya corrido por toda su extension.

Si se busca el orígen del ático, se le debe encontrar, como lo indica su nombre, en Atenas; y efectivamente, en Grecia eran muy poco usadas las cubiertas de tejado (1); un parapeto ó pretil era necesario para cerrar las azoteas generalmente empleadas, y tal debió ser la primera forma del ático, que así pasó probablemente á Roma, en donde se le vé formando una parte muy esencial de los arcos de triunfo. Su objeto en estos monumentos es recibir inscripciones, y servir de descanso á estátuas, jarrones ú otra clase de ornamentos.

Los áticos de la Edad Media son verdaderos coronamientos en figura casi siempre de cornisas ó de balaustradas, que despues describirémos. Acaso por primer vez toman el carácter y la importancia de pisos en los edificios del Renacimiento, y lo que es más, parecen constituir una especie de

(1) En algun diccionario se atribuye la procedencia del nombre *ático*, no á sus evidentes relaciones con el pretil de azotea, sino á una violenta semejanza que se supone entre lo que hoy se llama *ático* y las edificaciones de un sólo piso, generales en Atenas.

órden, al que se ha querido dar el nombre de *órden ático.* Muchos arquitectos modernos han seguido y siguen las huellas del Renacimiento. Nosotros en este punto nos permitirémos significar la opinion de que los áticos, así aplicados, ni responden á una necesidad de la edificacion, ni es racional que constituyan un órden, ni son más que una superposicion de pisos, poco ó nada motivada, y no digna ciertamente de aplauso; como que vienen á ser, ni más ni ménos que un elemento creado para la satisfaccion de necesidades facticias ó no naturales.

Italia, cuna del Renacimiento, al convertir el ático en piso, con el talento artístico que la distingue, parece que se esfuerza por disminuir en sus formas, en sus proporciones y en su exornacion, la importancia que le dá en su esencia; y los simplifica, los reduce, los convierte en cierto modo en pedestales corridos, ó en especies de frisos cubiertos de obras de escultura; quiere que tenga la apariencia del ático romano, y olvida que es la realidad de un piso. Nacen y se originan en esta pugna de dos ideas antitéticas sérias dificultades de arte, que pudieron acaso ser salvadas por ingeniosas combinaciones de eminentes arquitectos, pero que son, en general, de muy dudosa solucion.

¿La cornisa del edificio deberá ser la del ático que lo corona, ó la del piso más importante? Si lo primero, en vano se tratará de quitar importancia al ático; la cornisa la reclama, y es preciso dársela si no se quiere caer en una grosera falta de armonía; si se adopta el segundo extremo, será sin duda muy chocante colocar la cornisa en posicion distinta de la que le señalan su objeto y su destino. Unos, acudiendo al primer medio, se han visto en la necesidad de realzar el ático en términos de hacer de él la parte más vistosa, la más galana de la edificacion. Cuajado de adornos y lleno de primores de cincel, se destaca y sobresale el ático del palacio del Louvre con tanta grandeza, que relega á un segundo lugar la parte del monumento que por su objeto debiera ocupar el primero. ¿Y esta solucion no es violenta, no es contraria á los preceptos de la razon? Otros, acudiendo al segundo medio, y no queriendo caer en la falta que hemos señalado, han retirado el paramento del ático, dejando una explanada ó azotea á la altura de la cornisa principal. Y ocurre preguntar: ¿cuál es, pues, el objeto de ese *piso ático* que así se esconde?

Si lo que se quiere es dar al edificio lo que se suele llamar un *remate*, sea en forma de pretil, de balaustrada, de parapeto, de cresteria, de pedestal corrido, y si no se conceptúa bastante el entablamento con todos sus miembros; si lo que se desea es cubrir un tejado cuyo aspecto es poco susceptible de decoracion, estará, en nuestro concepto, motivado el ático así dispuesto; pero el piso ático, el órden ático, no nos parece una idea feliz. Admirarémos las hábiles y elegantes disposiciones que insignes maestros hayan sabido darles, mas no la idea que haya presidido á su creacion.

Hemos hablado de las cornisas de coronamiento y de las balaustradas: digamos ahora algo sobre ellas. En Grecia y Roma fueron siempre las primeras la parte más elevada del entablamento, tal como en los órdenes de arquitectura la hemos dado á conocer. Pero en Roma principalmente, en donde era más comun que en Grecia la construccion de Coronamientos.

pisos superpuestos, hacian los arquitectos uso de la latitud que hemos dicho dejaban las proporciones de los órdenes, para que la cornisa del más elevado tuviese mayor saliente que las de separacion entre unos y otros pisos, reduciendo estas últimas muchas veces casi á sencillos listeles.

No estamos conformes con la apreciacion de algunos autores acerca de la manera empleada por los Romanos para disponer los coronamientos. Dicen que, formando cada piso un órden, y teniendo cada órden un entablamento, la superposicion de estos es impropia, porque representa la construccion de varios edificios unos encima de otros. Pero á poco que se examine este juicio, se descubre su injusticia y la sinrazon de su fundamento; cada piso, cada órden tiene su arquitrabe, que representa las soleras; su friso, que representa los cabios, y un filete moldurado, que puede representar el espesor del pavimento; y no importa que el filete sea de mayor ó menor altura (entre ciertos límites), porque se sabe que las varias capas que componian el *pavimentum* romano llegaban á tener un espesor considerable. El piso superior, el órden más elevado, tiene tambien su entablamento; pero como sostiene una cubierta que recibe las aguas, son más salientes la ceja ó alero y el cimacio superior; son parte de verdadera cornisa y diferentes por tanto de los filetes antes mencionados.

¿Qué han visto en esa disposicion los que la han criticado, que no sea perfectamente racional y apropiado á su objeto? Es que tambien en el arte hay sus modas, y algunos autores parece que, en su exagerado afan de elogiar la arquitectura de la Edad Media, no han encontrado otro medio

más cuerdo de hacerlo que la injusta y apasionada crítica de la romana, que copió el Renacimiento. Vamos, pues, á ver cómo eran esas cornisas y esos coronamientos de la Edad Media.

Lo que ante todo llama la atencion es que no hay en esta época entablamento; desaparecen el arquitrabe y el friso, y si alguna vez se le descubre en raros monumentos del siglo XI, es una mutilacion del entablamento romano. En general, un alero de piedra achaflanado y en bisel forma la cornisa de los edificios, y se une por su parte inferior al muro por medio de algunas molduras, degeneracion de las romanas, adornadas con gusto bizantino, y sostenidas por canes ó ménsulas de piedra, algunas veces parecidos á los modillones corintios, pero más frecuentemente de formas diversas y por extremo caprichosas, de que dan idea las figuras. Como en ellas se ve, las hay de mascarones y figuras monstruosas, ó de hojas destacadas, ó una série de pequeñas volutas sobrepuestas atravesadas por una losa perfilada en forma de caveto, ó pequeñas arcadas simuladas sin más apoyo aparente en sus arranques que hojas, caras humanas, cabezas de animales ó especies de capiteles aislados. Sobre las cornisas así dispuestas, pero más adornadas y con un cuerpo moldurado contínuo en vez de las ménsulas, se vé en el siglo XIII una balaustrada; y entonces se puede considerar el conjunto como un verdadero ático. L. 19, figuras 179 á 190, y lámina 20, fig. 191.

Los varios pisos están separados por estrechos plintos moldurados, ó pequeñas arcadas simuladas, que son primero de medio punto, sencillas ó lobuladas, y despues ojivales, con las mismas variedades en el siglo XIV; y tanto estas dis-

posiciones que separan los pisos, como las de coronamiento, se distinguen por su poco saliente en este período de la arquitectura ojival, en que predominan las líneas verticales.

En todas ó casi todas las cornisas que están sostenidas por ménsulas, se halla, en medio de cada porcion plana in-
L. 19, fig. 179 ferior de las primeras comprendida entre las segundas, una rosa esculpida; y los perfiles de los aleros, de los cordones y de las diferentes partes del cornisamento son compuestos, como los de las arquivoltas de las mismas épocas, de varias combinaciones de toros, cavetos y escocias más ó ménos degenerados. En el siglo xv se multiplican las partes del cornisamento, son más salientes, y su decoracion es en extremo recargada.

L. 20, figuras 192, 193 y 194. El Renacimiento y la arquitectura moderna, volviendo á las antiguas prácticas del arte griego y romano, y queriendo huir de las exageraciones de los últimos períodos del gótico, han revivido el uso de los entablamentos, reduciéndolos en algunos casos sólo á la cornisa, ó á esta y un arquitrabe. Tales supresiones han dado lugar á notables diferencias en las proporciones adoptadas por los maestros más distinguidos, y áun á cierta latitud en las formas. Las figuras presentan varias disposiciones.

Balaustradas. No se aplican solamente las balaustradas en el caso que acabamos de considerar. Desde los tiempos del arte griego ya eran empleadas para cerrar los intercolumnios en los pórticos y para rodear en los templos el sitio en que se colocaba la estátua principal del Dios. Su altura era la que generalmente se llama de *apoyo;* sus formas, imitacion de las de madera, y eran las más ricas de mármol ó de bronce. Los

Romanos siguieron exactamente esas mismas disposiciones, y sobre ellas, por consiguiente, nada tenemos que decir.

En la Edad Media, y sobre todo en el siglo xiii, revisten infinidad de formas diferentes, y son muy generalmente empleadas, tanto en el interior como en el exterior de los edificios. Todas las partes de las fachadas son invadidas por las balaustradas; ya juegan en basamentos; ya forman balcones, galerías, corredores á altura de los diferentes pisos; ya coronan las cornisas, y forman con ellas, como antes hemos dicho, verdaderos áticos, y ya finalmente, son parapetos que rodean las azoteas ó las canales superiores de los tejados.

Parece que durante el período romano bizantino las ba- L. 20, fig. 195
laustradas de piedra eran unos muros de apoyo llenos, á veces decorados en su extremidad superior por una línea de dientes de sierra sobre canes abocelados, ó por arcadas pequeñas simuladas de medio punto ó lobuladas sobre co- L. 20, fig. 196
lumnitas unidas al muro ó ligeramente destacadas de su paramento. Pero desde el primer período de la arquitectura ojival dejan ya de ser llenas, y se convierten en verdaderas arcadas abiertas, ojivales sencillas ó lobuladas, ó de formas L. 20, figuras 197, 198 y 199.
mixtilíneas, sobre columnitas ó piés derechos ó pilares; los tímpanos suelen ser decorados con ojos de buey de tres y L. 21, fig. 200
cuatro lóbulos. Posteriormente, á las arcadas sustituyen otras formas producidas por combinaciones y enlaces de triángulos, cuadrados, rombos y círculos, siempre lobula- L. 21, figuras 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207 y 208.
dos, ó por flores de lis en círculos y cuadrados, hasta que, en el siglo xv, las divisiones de las balaustradas se presentan con nervios prismáticos, que se enlazan haciendo en sus

inflexiones las ondas propias de esa forma flamígera característica del período florido.

El Renacimiento, que pudo haber restaurado las balaustradas griegas y romanas, cuyos restos dispersos han servido de base á los arqueólogos modernos para hacerlo, se limitó á buscar la imitacion sistemática que se habia propuesto en una poco juiciosa aplicacion de los órdenes de arquitectura á este elemento, para el cual le sirvieron de tipo las barreras de madera. Mientras fueron los balaustres imitados de las piezas de madera torneadas, las balaustradas del Renacimiento eran preciosas, ligeras al principio como el modelo de carpintería que copiaba, sólidas despues y fuertes como la piedra con que eran construidas; mas cuando los arquitectos de la época hicieron intervenir la idea de los órdenes antiguos en ellas, reemplazaron el balaustre por la columna, y despojaron á la balaustrada de ese carácter de fantasía un tanto caprichosa y liviana, que gusta ver y que es propio de todo lo que es accesorio y como accidental.

L. 21, figuras 209 y 210.

La arquitectura moderna casi nunca ha adoptado la última viciosa disposicion que acabamos de indicar; y empleando las otras formas del Renacimiento y de las demás épocas, sin caer en algunas extravagancias de la Edad Media, habria sido en esto irreprochable, si á semejanza de algunos modelos, no hubiese hecho aplicacion poco cuerda, de los balaustres á las barandas de las escaleras; porque, ó son verticales, y entonces las bases y capiteles están oblícuamente cortados por las pendientes de la zanca y del pasamanos, ó si, para evitar esto, se hace que las molduras

participen de la inclinacion, el aspecto que entonces presentan es de mal efecto; parece como que los balaustres tienden á resbalar. Todas las otras disposiciones, que no presentan apoyos aislados, son evidentemente más propias en estos casos.

Las balaustradas de ladrillo para construcciones que no son de gran lujo son de grande y frecuente aplicacion; y en ellos se destacan esas primorosas combinaciones y juegos de figuras y colores de los agramilados.

L. 21, figuras 211 y 212.

El hierro fundido, susceptible como es de recibir las formas que se quiera darle, se presta admirablemente á ser empleado en las balaustradas. Con él se hacen balcones, barandas, verjas y otras muchas partes accesorias de los edificios, que pueden ser consideradas como otras tantas variedades del elemento que estamos estudiando.

L. 21, figuras 213 y 214.

No debe haber continuidad en las balaustradas; se las divide en tramos, que no deben ser de mucha longitud, por medio de postecillos ó pilares. El grueso de estos y la distancia de unos á otros no están sujetos á reglas fijas; los regulan en cada caso el gusto y la clase de materiales empleados.

Frontones.

Otro elemento de arquitectura que vamos á describir ligeramente aquí, es el fronton. Sobre el entablamento de los templos griegos se elevaba un techo de dos vertientes, cuyos perfiles extremos transversales dibujaban las formas triangulares llamadas *frontones*, que coronaban los pórticos. La cornisa del entablamento servia de base al triángulo del fronton, y se continuaba á lo largo de los lados inclinados. El espacio ó superficie plana entre los tres lados, llamado

tímpano, fué primero decorado con figuras de barro coloreado, que más tarde fueron sustituidas por bellas esculturas de mármol y estátuas de bronce. La altura del vértice superior era mayor ó menor segun el grado de esbeltez del órden; y una relacion inversa era observada para determinar la profundidad del tímpano respecto de la arista más saliente de la cornisa. En la cúspide del fronton y en las extremidades inferiores de los lados inclinados habia unos dados ó zócalos que servian de pedestal para la colocacion de vasos, jarrones, estátuas ú otras figuras esculpidas: eran las *acroteras* (1).

Los Romanos al principio no alteran sensiblemente la disposicion griega; se limitan á dar un poco más de esbeltez á sus proporciones; pero despues, en el período de la decadencia del arte, su afan desmedido por la exornacion los lleva á complicar las formas, con infraccion manifiesta de las prescripciones de la verdad y del buen sentido. En vez de continuar á lo largo de los lados inclinados del fronton solamente la cornisa, ó mejor dicho, su cimacio superior, la parte de ella destinada á alejar las aguas, continuaron todas sus partes (los dos cimacios y la ceja ó alero); y con ellas los mútulos, dentículos ó modillones afectando naturalmente en dichos lados formas oblícuas de un efecto deplorable. Esta viciosa disposicion fué imitada más tarde, en el siglo XVI, y se ha trasmitido á nuestra época, en la cual desgraciadamente se presentan numerosos ejemplos de ella.

(1) La palabra antigua es *acroteria.* Algunos hoy dicen *acróteros* y *acróteras.*

Hay en las proporciones de este elemento de arquitectura y en sus formas alguna indeterminacion que impide establecer fórmulas precisas. La altura de la cúspide no tiene un valor que depende solamente de la anchura; la elevacion de las columnas ó de las pilastras ó del muro, y el número de apoyos aislados, son otras variables de quienes aquella dimension depende. Y si se toma como variable la relacion entre la anchura y la altura de la construccion, se podrá decir que á medida que esta crece, mengua la inclinacion. Es evidente, por tanto, que la altura de la cúspide deberá ser menor sobre el órden dórico que sobre el jónico, y menor sobre este que sobre el corintio. Se puede adoptar como un valor medio para la inclinacion el de $\frac{1}{8}$ á $\frac{1}{5}$.

Algunas veces se vé un fronton de pendiente suave en edificio de tejados muy inclinados. Este grosero contraste debe siempre ser evitado, y como la pendiente de un tejado, despues de todo, depende del material de su cubierta, se comprende que en todos los casos será posible y fácil evitarlo. No necesitamos detenernos á condenar los frontones curvos en techos de armaduras rectas, ni otras formas, algunas veces empleadas encima de los vanos, como son las de curvas interrumpidas, cortadas, de inflexion, etc., etc. Son aberraciones, tipos bastardos, que causan repugnancia á la vista de todo observador inteligente.

Si no hemos hablado de las cornisas interiores en las paredes de las habitaciones, ni de los frontones interiores, no se atribuya á olvido. Creemos que los segundos, por carecer de objeto, deben ser proscritos, y en cuanto á las primeras, que mejor llamaríamos, como en la Edad Media,

cordones moldurados, nos limitarémos á indicar, con todos los autores, que en salas de techo bajo, un efecto de ilusion óptica hace que convenga darles poca altura y mucho vuelo sobre las paredes, para que aparezcan más elevadas.

FIN DE LA PRIMERA PARTE.

ÍNDICE

DE LA PRIMERA PARTE.

Páginas.

LECCION VI.

LECCION VII.

LECCION VIII.

LECCION IX.

ADICION A LA LECCION V.

FÓRMULAS usuales y proporciones ordinarias de las puertas y ventanas.

<table>
<tr><th>Nombres.</th><th>Fórmulas.</th><th>Notacion.</th><th>Observaciones.</th></tr>
<tr><td>Puertas de habitaciones</td><td>En general la altura varía entre $\frac{3}{2}a$ y $\frac{5}{2}a$.
Dimensiones ordinarias:
De dos hojas... { anchura. . . de $1^m,30$ á $1^m,62$.
{ altura. . . . de $2^m,27$ á $2^m,92$.
De una hoja. . . { anchura. . . de $0^m,73$ á $0^m,89$.
{ altura. . . . de $1^m,95$ á $2^m,44$.
Se admite algunas veces la siguiente relacion:
Orden dórico. . . altura $= 2a - \frac{1}{12}a$
— jónico. . . — $= 2a + \frac{1}{12}a$
— corintio. . — $= 2a + \frac{1}{6}a$</td><td>a... anchura de la puerta</td><td>Tanto estas fórmulas como las dimensiones ordinarias indicadas nada tienen de fijo ni absoluto; y el arquitecto dispone de toda la latitud que quiera en estas proporciones, sin más sujecion que la impuesta por el objeto y la necesidad de que haya armonía.
En este concepto, y no de otro modo, se debe entender la aplicacion hecha aquí de los órdenes de arquitectura.</td></tr>
<tr><td>Puertas exteriores. . . .</td><td>De fachada. . . . . { anchura variable segun la importancia del edificio.
{ altura... su relacion con la anchura como en las arcadas.
De carros. . . . . . anchura de $2^m,92$ á $3^m,25$.
Cocheras. . . . . . — de $2^m,60$ á $2^m,92$.</td><td>» »</td><td>En estas puertas, más que en todas las otras, es por extremo variable la relacion de sus dos dimensiones, y aún las formas del contorno del vano. Anchas y poco elevadas, esbeltas, adinteladas, arqueadas en medio punto, escarzanas, elípticas, etc., etc. El gusto resuelve.</td></tr>
<tr><td>Ventanas. . . . .</td><td>Dimensiones ordinarias.
Grandes. . . . anchura de $1^m,62$ á $1^m,79$.
Medianas. . . — de $1^m,46$ á $1^m,54$.
Pequeñas. . . — de $1^m,14$ á $1^m,30$.
Las alturas varían entre a y $\frac{5}{2}a$.
Alturas de antepecho.
<table><tr><td>Correspondientes á. . . . .</td><td>$0^m,76$</td><td>$0^m,81$</td><td>$0^m,86$</td><td>$0^m,89$</td><td>$0^m,97$</td><td>$1^m,06$</td></tr><tr><td>Alturas de pisos. . . . .</td><td>$2^m,27$</td><td>$2^m,60$</td><td>$2^m,92$</td><td>$3^m,25$</td><td>$3^m,90$</td><td>5^m á 6^m</td></tr></table>Ventanas cuadradas. . . su anchura juega con los demás vanos.
— apaisadas. . . — — — — : altura $= \frac{2}{3}a$.</td><td>» »</td><td>La misma salvedad que hemos hecho respecto de las proporciones de las puertas es aplicable á las ventanas; y se debe, por tanto, considerar los números presentados como punto de partida útil, mas como susceptibles de variacion por muchas razones, entre las que figura el clima. En los tropicales se evita el sol, pero se desea la brisa; y en los países del Norte se anhela el sol en invierno, y se teme la influencia de los vientos fríos. Son extremos no siempre fácilmente conciliables, y no caben en reglas ni fórmulas ni preceptos generales.
Las ventanas cuadradas y las apaisadas se emplean comunmente en los entresuelos, encima de las grandes puertas y para dar luz á los sótanos.</td></tr>
<tr><td>Partes comunes á todos los vanos. . . . . . .</td><td>Telares de puertas y ventanas.
Orden dórico. . . . . { partes verticales: anchura $= \frac{1}{5}a$
{ parte horizontal: (dintel) $=$ de $\frac{1}{5}a$ á $\frac{1}{4}a$
— jónico y corintio { partes verticales: anchura $= \frac{1}{6}a$
{ parte horizontal $=$ de $\frac{1}{6}a$ á $\frac{1}{5}a$</td><td>» »</td><td>» »</td></tr>
</table>

ADICION A LA LECCION VI.

INCLINACIONES y pesos de las clases de cubiertas generalmente usadas.

Clases.	*Peso por metro cuadrado.*	*Carga adicional por metro cuadrado.* Términos medios		*Inclinacion.*	*Observaciones.*
		Por viento y nieve.	Por el maderámen.		
Pizarras.	30 kilógramos á 40 kilógramos.	40 kilógramos.	0,056 . π (kilógramos).	1 á $\sqrt{3}$... 45° á 60°	La letra π indica el peso en kilógramos de 1ᵐˢ de la clase de madera que se haya de emplear. La presion del viento y la carga de la nieve, deben variar segun los climas. Así, en los países muy frios, la segunda puede ser de 50 kilógramos, y en los trópicos, la primera llega á ser hasta 120 kilógramos en fuertes tormentas.
Teja comun de barro.	90 kilógramos secas. 28 kilógramos mojadas.	40 kilógramos.	0,063 . π (kilógramos).	$\frac{1}{2}$... 26° á 27°	
Idem plana con realces (varios tipos).	40 kilógramos á 50 kilógramos secas. 45 kilógramos á 58 kilógramos mojadas.	40 kilógramos.	0,048 . π (kilógramos).	$\frac{2}{5}$... 22° á 23°	
Zinc (planchas).	4 kilógramos á 7ᵏ,50.	40 kilógramos.	0,042 . π (kilógramos).	$\frac{1}{3}$... 18° á 20°	
Hierro galvanizado (planchas).	8ᵏ,80.	40 kilógramos.	0,042 . π (kilógramos).	$\frac{1}{3}$... 18° á 20°	

Valores de las cargas-límites de resistencia que se puede adoptar con seguridad.

Pino y encina.	600.000 kilógramos por metro cuadrado.
Roble.	500.000 kilógramos por metro cuadrado.
Cedro: muy empleado en Cuba y Puerto-Rico para techos.	400.000 kilógramos por metro cuadrado.
Hierro forjado.	8.000.000 kilógramos por metro cuadrado si no hay exposicion á choques y fuertes conmociones bruscas.
— —	6.000.000 kilógramos por metro cuadrado, si lo contrario...
Hierro fundido.	3.000.000 kilógramos por metro cuadrado, si ha de resistir tensiones, lo cual siempre se evita.
— —	7.500.000 kilógramos por metro cuadrado, si resiste á compresion solamente, en cuyo caso se le prefiere siempre al forjado en las armaduras de techos.

Los valores numéricos obtenidos para R por la aplicacion de las fórmulas antes presentadas, deberán siempre ser inferiores, ó lo más iguales, á los números respectivos de esta tabla.